

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka / Rakennesuunnittelu

Paulus Hedenstam

LAASTITUOTTEIDEN PAKKASENKESTÄVYYDEN TESTAUSMENETELMÄT

Opinnäytetyö 2011

# TIIVISTELMÄ

## KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

### Rakennustekniikka

HEDENSTAM, PAULUS

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Maaliskuu 2011

Avainsanat

Laastituotteiden pakkasenkestävyyden testausmenetelmät

44 sivua + 30 liitesivua

lehtori Sirpa Laakso

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Rakennuslaboratorio

koestus, testaus, laasti, pakkasenkestävyys, muuraus,  
standardi, laadunvarmistus

Laastien pakkasenkestävyyden varmistamista varten on olemassa kaksi SFS-standardien mukaista menetelmää. SFS-käsikirjan 156 (SFS5447) mukainen jäädytys-sulatuskoe on tarkoitettu betonin testaukseen, mutta käytännössä sillä testataan myös laastituotteiden pakkasenkestävyyttä. SFS-käsikirjan 176 (Liite B) mukainen jäädytys-sulatuskoe on tarkoitettu muuratuille tuotteille. Tämän työn tarkoituksena on tutkia korrelaatiota näiden kahden jäädytys-sulatuskestävyyden testausmenetelmän välillä.

Jäädytys-sulatuskokeen tarkoitus on muodostaa sykli, jossa laastikoekappale jäätyy sekä sulaa. Molempien standardien mukaisissa kokeissa jäädytys-sulatussykli toistetaan 100 kertaa. Pakkasenkestävyyttä arvioidaan testaamalla rinnakkaiskokeena taivutusveto- ja puristuslujuus jäädytyskokeessa olleille koekappaleille ja standardin mukaisesti säilytetyille vertailukoekappaleille. Koekappaleiden kuntoa tarkasteltiin kokeen edetessä mittaamalla ultraäänen etenemisnopeutta koekappaleessa.

Yhteenvedona voidaan todeta menetelmän SFS 5447 pakkasrasituksen olevan suurempi. Tähän syyt löytyvät todennäköisesti syklien lämpötiloista sekä vertailukappaleiden säilytys tavasta, joissa menetelmien välillä on havaittavissa eroja. Näiden tutkimustulosten valossa molempien jäädytys-sulatusmenetelmien käyttö laastituotteiden pakkasenkestävyyden laadunvalvonnassa on perusteltua.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

HEDENSTAM, PAULUS

Comparison of Frost Durability Testing Methods for Mortar Products

Bachelor's Thesis

44 pages + 30 pages of appendices

Supervisor

Sirpa Laakso, Senior Lecturer

Commissioned by

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, University of Applied Sciences / Construction laboratory

March 2011

Keywords

testing, mortar, frost, durability, masonry, standard, quality assurance

There are two acceptable methods to test frost durability of mortar products. The first one follows SFS-handbook 156 (SFS5447), which is made for concrete product testing. The second one follows SFS-handbook 176 (Liite B), which is made for mortar product testing. The purpose of this thesis was to examine correlation between these two methods.

The purpose of frost durability test is to form a cycle for test specimen, which imitates winter conditions. In the beginning of the cycle, the test specimen is frozen and after that, melted. This cycle is repeated 100 times. After the test procedure flexural and compressive strength of the test specimen are measured. The flexural and compressive strength of the test specimen that has gone through 100 cycles is compared to values of test specimens preserved in normal conditions. During the frost durability test the specimen condition is observed with an ultrasound equipment.

The result of this research revealed that the SFS5447 method creates harsher conditions for the test specimen. The reason for this result can be found in differences between temperatures and preserving conditions of each method. In the light of these findings, it is justified to use both of these methods in the testing procedure.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	1. JOHDANTO	6
1.1	Tutkimuksen lähtötilanne	6
1.2	Työn tavoitteet ja raja	6
1.3	Pakkasvaurioituminen	7
2	TUTKIMUSMENETELMÄT	8
2.1	Suomen Standardisoimisliitto	8
2.2	Standardit	8
2.3	Jääd	9
2.3.1	SFS-Käsikirja 156 - Betonin testaus 2002 (SFS 5447)	9
2.3.2	SFS-Käsikirja 176 - Muuratut tuotteet 2007 (Liite B)	10
2.4	Laattakoe, CEN/TS 12390-9 (56 d)	11
2.5	Laatuvaatimukset	12
3	TYÖN TOTEUTUS	12
3.1	Koekappaleiden valmistus	12
3.1.1	Massan valmistus	12
3.1.2	Ilmamäärän mittaus	14
3.1.3	Prismojen valmistus	15
3.1.4	Kuutioiden valmistus (laattakoe)	15
3.1.5	Jälkihoito	16
3.2	Valmistelevat toimenpiteet	17
3.2.1	Prismat (SFS 5447)	17
3.2.2	Prismat (Liite B)	17
3.2.3	Laattakoekappaleet	18
3.3	Käytetyt laitteet	19
4	TULOKSET	20

4.1 Tulokset standardin SFS 5447 mukaan	20
4.2 Tulokset standardin Liite B mukaan	24
4.3 Tulokset standardin CEN/TS 12390-9 (56 d) mukaan	29
4.4 Ohuthietutkimuksen tulokset	36
4.5 Tulosten taivutus-veto- ja puristusjuuksien vertailu	36
 5 TULOsten TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT	 38
5.1 Epävarmuustekijät	38
5.2 Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset	41
 LÄHTEET	 45
 LIITTEET	 45

Liite 1. Tutkimustulokset SFS 5447

Liite 2. Tutkimustulokset Liite B

Liite 3. Tutkimustulokset CEN/TS 12390-9

Liite 4. Ohuthietutkimustulokset

Liite 5. Ohuthietutkimusten mikrorakennekuvat

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tutkimuksen lähtötilanne

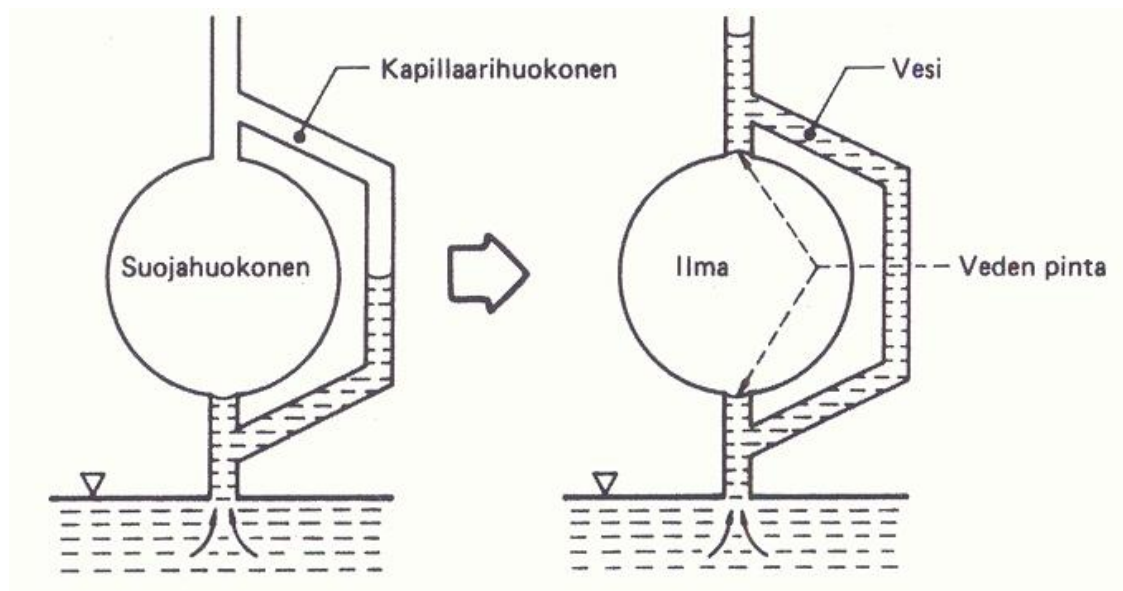
Tämän tutkimuksen tarkoituksena on vertailla kahta SFS-käsikirjan jäädytys-sulatuskestävyyden testausmentelmää. Kyseisiä testausmenetelmiä käytetään laasti- ja betonituotteiden pakkasenkestävyyden laadunvalvonnan suorittamiseen. Tämän tyyppisesti standardeja ei ole aiemmin vertailtu, joten on hyvin mielenkiintoista saada tutkimustuloksia menetelmien välille. Toimeksiantajana toimii Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorio. Selvitystarve on lähtöisin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun ja SFS Inspectan henkilökunnan käymistä keskusteluista.

### 1.2 Työn tavoitteet ja raja

Työn tarkoituksena on saada mahdollisimman luotettavat vertailutulokset ja näin tutkia korrelaatiota menetelmien välillä. Jäädytys-sulatuskokeet suoritetaan SFS-käsikirja 156 (SFS-5447) sekä SFS-Käsikirja 176 (Liite B) mukaisin menetelmin. Näistä käsikirjoista 156 on tarkoitettu betonin koestukseen ja 176 muuratuiden tuotteiden koestukseen. Tämän tutkimuksen päätavoite on tutkia eroja testimenetelmien jäädytys-sulatussyklityksestä. Mahdollisimman luotettavaan lopputulokseen pyritään pääsemään siten, että kokeissa käytetään useita erilaisia laastituotteita. Tuotteita kokeisiin on valittu kaikkiaan kuudesta eri laastityypistä, joista osa ei ole ominaisuuksiltaan pakkasenkestäviä. Lisäksi suoritetaan samoille laastituotteille rinnakkaiskokeena CEN/TS 12390-9-laattakoe, joka tukee jäädytys-sulatuskestävyyden testausmentelmien tutkimustuloksia sekä niiden johtopäätösten vertailua. Tutkimustuloksia laattakokeesta sekä SFS-5447 jäädytys-sulatuskokeesta verrataan Betonormit 2004:n antamiin pakkasenkestävyyden laatuvaatimuksiin. Liite B:n mukaisia kokeita verrataan standardin antamiin omiin raja-arvoihin. Lisäksi analysoidaan pakkasrasitettujen koekappaleiden pakkasvauriot ohuthietutkimusten avulla, joilla saadaan tietoa todellisesta vaurioitumisesta sekä laastien koostumuksesta.

### 1.3 Pakkasvaurioituminen

Betonirakenteiden pakkasvaurioituminen pääsee tapahtumaan silloin, kun betoni pääsee kyllästymään vedellä sekä jäätymään. Betonilla on tietty kriittinen vedenkyllästysaste ja sen ylittyessä alkaa betoni vaurioitua jäätyessään. Kriittinen vedenkyllästysaste täyttyy, kun tietty osuus betonin kokonaishuokostilavuudesta täyttyy vedellä. Jos betonissa on vähän suojahuokosia sen kyllästysaste on suuri ja näin altis vaurioille jäätyessään. Tämän vuoksi betonissa käytetään lisäaineena huokostimia. Huokostimilla saadaan muodostettua betoniin ilmatäytteisiä huokosia. Tämä alentaa vedenkyllästymisastetta ja näin parantaa pakkasenkestävyyttä. Huokoistavaa lisäainetta annostellaan tavallisesti betonimassaan siten, että massan ilmapitoisuus nostetaan noin 4...8 %:iin. Suojahuokosten tulisi olla oikean kokoisia ominaispinta-alaltaan sekä niiden keskinäisen välimatkan riittävän pieni. Kastuessaan betonin kapillaarihuokokset täyttyvät ensimmäisenä vedellä. Suojahuokokset jäävät suuremman kokonsa ansiosta ilmatäytteiseksi veden pintajännityksen avulla (Kuva 1). Jäätyessään vesi kasvattaa tilavuuttaan noin 9 % ja näin muodostaa betoniin sisäistä painetta. Suojahuokosten ansiosta tämä betoniin kohdistuva paine pääsee tasaantumaan ilmatäytteisiin suojahuokosiin ja näin säästää betonia pakkasvaurioilta. Kuitenkin suojahuokokset voivat täyttyä vedellä, mikäli betoni on pitkään yhtäjaksoisesti vedessä. (8, 104–107.)



Kuva 1. Kuvassa on havainnollistettu, miten suojahuukokset pysyvät ilmatäyhteisinä vedenpintajännityksen avulla (8, 106.)

## 2 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 2.1 Suomen Standardisoimisliitto

Suomen standardisoimisliitto (SFS) on standardoinnin keskusjärjestö maassamme ja toimii jäsenenä kansainvälisessä standardisoimisjärjestössä (International Organization for Standardization) ja eurooppalaisessa standardisoimisjärjestössä (European Committee for Standardization). Järjestö on perustettu vuonna 1924. (1.)

SFS huolehtii siitä, että standardikokoelmat ovat ajan tasalla ja että ne sisältävät kansainvälisten ja eurooppalaisten sopimusten edellyttämät kansalliset standardit. Myös kansallisten standardien vahvistaminen kuuluu osana liiton tehtäviin. SFS:n toimenkuvaan kuuluu myös tarjota kansallisia ja kansainvälisiä standardeja ja niihin liittyviä määräyksiä niitä tarvitseville. Standardisoimisliitto tekee myös työtä ohjatakseen kansallista standardisoimista sekä toimii yhteistyössä ulkomaisten standardisoimisjärjestöjen kanssa. (2.)

### 2.2 Standardit

Standardien tekemiseen käytetään konsensusperiaatetta. Ne ovat puolueettoman osapuolen, usein standardisoimisjärjestön, hyväksymiä asiakirjoja. Standardit on tarkoitettu yleiseen käyttöömme ja ovat kaikkien saatavilla. Standardeja



on kolmea eri tyyppiä, jotka ovat kansainvälinen (ISO), alueellinen (EN) ja kansallinen (SFS). (3.)

Standardien tarkoitus on olla hyödyksi kaikilla aloilla, niin teollisuudessa, tieteessä, hallinnossa kuin yhteiskunnallisessa palvelu- ja sosiaalityössä. Standardien tarkoitus on ohjata tuotteita ja palveluita sellaisiksi, kuin ne on tarkoitettu. Standardien ansiosta myös virheet vähenevät ja saadaan parempia käytännön tuloksia. (4.)

## 2.3 Jäädytys-sulatuskokeiden suoritus standardien mukaan

Tässä luvussa kuvaillaan kokeiden suoritusta standardien mukaisesti sekä perehdytään pakkassyklityksen eroavaisuuksiin SFS-käsikirjojen standardien välillä.

Koekappaleiden valmistus sekä koestukseen valmistelevat toimenpiteet on kerrottu tarkemmin tutkimusselosteen luvussa 3.

### 2.3.1 SFS-Käsikirja 156 - Betonin testaus 2002 (SFS 5447)

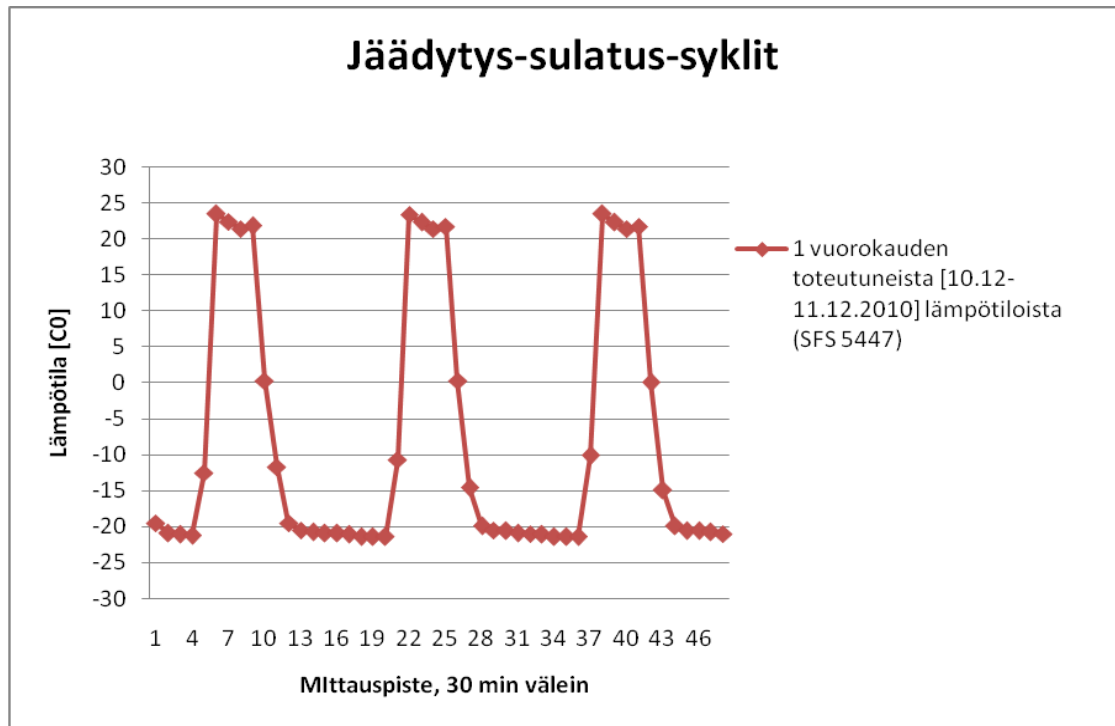
Koekappaleet on valmistettu ja jälkihoidettu standardin SFS-EN 1015-11 kohdan 7 mukaisesti. Valmiit pakkasrasitettavat koekappaleet laitetaan automatisoituun jäädytys-sulatuslaitteistoon.

Yksi jäädytys-sulatussykli tapahtuu siten, että koekappaleiden lämpötila lasketaan -20 °C:seen noin tunnin ajaksi. Tämän jälkeen aloitetaan sulatusvaihe, jossa lasketaan laitteistoon vettä, jonka lämpötila on vähemmän kuin 40 °C. Sulatusvaihe päättyy siihen, kun koekappaleet saavuttavat +20 °C lämpötilan. Tämän jälkeen vesi poistetaan laitteesta ja aloitetaan uusi jäädytysyksi. (5, 158) Kuvassa 2 on havainnollistettu yhden vuorokauden aikana toteutuneet 3 jäädytys-sulatussykliä. Jäädytys-sulatussyklejä toistetaan tässä kokeessa 100 kappaletta.

Jäädytys-sulatuskokeen pakkasenkestävyyttä arvioitiin tekemällä rinnakkaiskokeena taivutusveto- ja puristuslujuuden testaus jäädytyskokeessa olleille koekappaleille ja standardin SFS 5341 mukaisesti säilytetyille vertailukoekappaleille.

Koekappaleiden kuntoa tarkasteltiin jaksojen välillä mittaamalla pakkaskoekappaleiden ultraäänen etenemisnopeutta kokeen alussa, 50 kierroksen

jälkeen ja testin lopussa 100 kierroksen jälkeen. Ultraäänimittauksin voidaan määrittää suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos kokeen aikana.



Kuva 2. Yhden vuorokauden toteutuneet jäädytys-sulatussykliä lämpötilat kuvaajana

### 2.3.2 SFS-Käsikirja 176 - Muuratut tuotteet 2007 (Liite B)

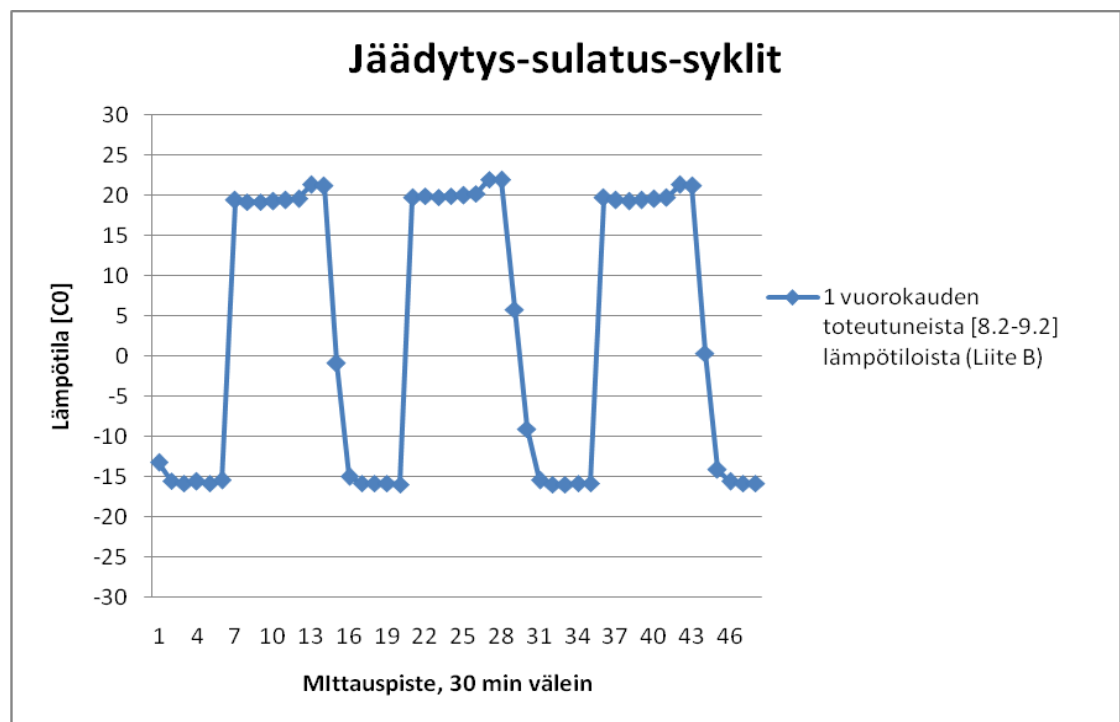
Koekappaleet on valmistettu ja jälkihoidettu standardin SFS-EN 1015-11 kohdan 7 mukaisesti. Valmiit pakkasrasitettavat koekappaleet laitetaan automatisoituun jäädytys-sulatuslaitteistoon.

Yksi jäädytys-sulatussykli tapahtuu siten, että koekappaleiden lämpötila lasketaan kahdessa tunnissa  $+20 \dots -15$  °C lämpötilaan. Jäädytysjakso kestää vähintään kaksi tuntia. Tämän jälkeen aloitetaan noin tunnin kestoinen sulatusvaihe, jossa lasketaan laitteistoon vettä, jonka lämpötila on  $+20$  °C. Tämän jälkeen koekappaleet ovat vedessä noin kahden tunnin ajan. Seuraavaksi vesi poistetaan laitteesta ja koekappaleet ovat valumassa noin tunnin ajan. Tämän jälkeen voidaan aloittaa uusi jäädytys-sykli. Kuvassa 3 on havainnollistettu yhden vuorokauden aikana toteutuneet 3 jäädytys-sulatussykliä. Jäädytys-sulatussyklejä toistetaan tässä kokeessa 100 kappaletta. (6, 147.)

Menetelmässä A jäädytys-sulatuskokeen pakkasenkestävyyttä arvioitiin testaamalla rinnakkaiskokeena taivutusveto- ja puristuslujuus jäädytyskokeessa olleille koekappaleille ja standardin mukaisesti olosuhdekaapissa ( $RH\ 65 \pm 5\%$   $T\ 20 \pm 5\ ^\circ C$ ) säilytetyille vertailukoekappaleille.

Menetelmässä B koekappaleet punnitaan kuivatettuna ennen ja jälkeen jäädytys-sulatuskokeita. Koekappaleet kuivataan uunissa, joka on  $105\ ^\circ C$ :n lämpötilassa. Tästä punnituksesta saadaan tulokseksi painohäviö-%. Suurin sallittu painomuutos saa olla 0,5 %.

Koekappaleiden kuntoa tarkasteltiin jaksojen välillä mittaamalla pakkaskoekappaleiden ultraäänien etenemisnopeutta kokeen alussa, 50 kierroksen jälkeen ja testin lopussa 100 kierroksen jälkeen. Ultraäänimittauksin voidaan määrittää suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos kokeen aikana.



Kuva 3. Yhden vuorokauden toteutuneet jäädytys-sulatussykliä lämpötilat kuvaajana

## 2.4 Laattakoe, CEN/TS 12390-9 (56 d)

Laattakoe suoritettiin standardin CEN/TS 12390-9 mukaan. Valmiit koekappaleet asetetaan jäädytys-sulatuslaitteistoon, joka vuoronperään jäädyttää sekä sulattaa

kappaleet. Kokeessa käytettiin menetelmää B (Metod B), jossa koekappaleiden testipinnalla käytetään jäätyvänä nesteenä pelkkää vesiliuosta. Koekappaleet harjataan kevyesti viikon välein ja rapautunut irtoaines kerätään talteen sekä punnitaan. Tästä saadaan tietoon rapauman määrä [ $\text{g/m}^2$ ]. Koekappaleiden kuntoa tarkasteltiin jaksojen välillä mittaamalla pakkaskoekappaleiden ultraäänen etenemisnopeutta kokeen alussa sekä 7, 28 ja 56 päivän koestuksen jälkeen. Ultraäänimittauksin voidaan määrittää suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos kokeen aikana.

## 2.5 Laatuvaatimukset

BY 50 -betoninormien mukaan kovettuneen betonin tulee täyttää tietyt pakkasenkestävyyden vaatimukset, kun suunniteltu käyttöikä on 50, 100 tai 200 vuotta. Tämän tutkimuksen osalta tasokokeiden hyväksyttävyyssrajoja verrataan laattakokeen sekä jäädytys-sulatuskokeen (SFS 5447) tuloksiin. (7.)

Jäädytys-sulatuskokeessa tarkasteltavia vaatimuksia ovat taivutus- tai halkaisuvetolujuuksien suhde [%] sekä suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos [%] kokeen aikana. (7.)

Laattakokeen osalta tarkasteltavia vaatimuksia ovat rapauma [ $\text{g/m}^2$ ] sekä suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos [%] kokeen aikana. (7.)

## 3 TYÖN TOTEUTUS

### 3.1 Koekappaleiden valmistus

#### 3.1.1 Massan valmistus

Laastimassat valmistettiin koetta varten säkkitavarasta. Jokaista tuotetta valmistettiin yksi säkillinen kerrallaan ja vesimäärän valinnassa noudatettiin valmistajan suosituksia. Massa valmistettiin sekoitusastiassa kuvan 4 mukaista porakonevispilää käyttäen, siten että ennen erän valmistusta välineet puhdistettiin mahdollisista epäpuhtauksista. Laastit valmistettiin kummankin standardin kokeisiin omissa erissään ja erillisistä laastisäkeistä. Standardin 5447 kokeisiin valmistetulle massalle tehtiin

haluttu koostumus ja käytetty vesimäärä sekä sekoitusajat kirjattiin ylös. Käytetyt vesimäärät on lueteltu taulukossa 1. Toinen erä laastimassaa Liite B:n kokeita varten valmistettiin kuten ensimmäinen erä, jotta massasta saataisiin mahdollisimman samankaltainen.



Kuva 4. Laastimassan sekoitus porakonevispilällä

Taulukko 1. Laastimassoissa käytetyt vesimäärät

Tuote	Vesimäärä (l/ 25 kg tuotetta)
Muurauslaasti	3,5
Korjauslaasti	2,5
Julkisivulaasti	4,2
Verkotuslaasti	5,5
Lattiamassa	2,5

### 3.1.2 Ilmamäärän mittaus

Laastimassojen valmistuksen yhteydessä mitattiin tuoreesta massasta ilmamäärä kuvan 5 mukaisella laitteistolla. Tulokset ilmamäärämittauksista on esitetty seuraavassa taulukossa 2.

Taulukko 2. SFS-Käsikirjan molempiin mentelmiin valmistettujen massojen ilmamäärät

Tuote	Ilma-% (SFS5447)	Ilma-% (Liite B)
Muurauslaasti	12,0	12,5
Korjauslaasti	10,0	7,0
Julkisivulaasti	13,5	13,0
Verkotuslaasti	14,0	16,0
Lattiamassa	7,5	9,0

Muuraus- ja julkisivulaastissa havaittiin pienimmät erot ilmamäärien välillä, vain 0,5 %:n ero lopullisessa ilmamäärässä. Muissa tuotteissa ilmamäärän ero vaihteli 1,5-3,0 % välillä. Näihin eroihin ilmamäärässä syy löytyy sekoitus- sekä tiivistysvaiheesta. Laastimassat sekoitettiin käsin porakonevispilällä, mikä vaikuttaa massan tasalaatuisuuteen. Sekoitussajalla ja tavalla on suora vaikutus huokostimen jakautumiseen massassa ja näin ilmamääriin saattaa tulla helpostikin eroja. Tiivistyksellä on suuri vaikutus ilmamäärään massassa. Liian voimakas tärytys voi vaikuttaa haitallisesti huokosrakenteeseen. Samanlaista tiivistysvaihetta on vaikea

toistaa, joten molempien laastien tiivistysvaihe toteutettiin silmämääräisen arvion perusteella.



Kuva 5. Ilmamäärän mittausta kalibroidulla Form+Test-laitteella

### 3.1.3 Prismojen valmistus

Koekappaleprismojen valmistus on tehty standardin SFS-EN 1015-11 kohdan 7.2.2 mukaisesti. Prismojen muotteina on käytetty standardin mitat täyttäviä EPS-muotteja. Koekappaleprismojen tulisi täyttää seuraavanlaiset mitat: 160 mm x 40 mm x 40 mm. Koekappaleet valmistettiin muutoin standardin ohjeiden mukaisesti, ainoastaan tiivistykseen käytettiin sullontasauvan sijasta tärypöytää.

### 3.1.4 Kuutioiden valmistus (laattakoe)

Koekappaleet laattakoea varten valmistettiin samasta laastimassasta, josta valmistettiin prismat standardin SFS 5447 kokeita varten. Laattakoea varten valmistettiin jokaisesta laastituotteesta 2 kappaletta mitoiltaan 150 mm x 150 mm x 150 mm olevaa kuutiota.



### 3.1.5 Jälkihoito

Koekappaleet jälkihoidettiin standardin SFS-EN 1015-11 kohdan 7.3 mukaisesti. Kuitenkin korjaus-, julkisivu- ja verkotuslaastin jälkihoito-olosuhteista poikettiin laastivalmistajan antamien suositusten mukaan. Taulukkoon 3 on kirjattu koekappaleiden säilytysajat päivissä, siten että jälkihoidon päätyttyä koekappaleet ovat 28 d:n ikäisiä. Nämä jälkihoitoajat pätevät kaikkiin valmistettuihin kappaleisiin. Kuitenkin jälkihoidon huolellisuudesta huolimatta, yksi testattavista tuotteista kärsi halkeilusta (Kuva 6). Tämä halkeilu johtuu kuivumiskutistumisesta, jonka ilmenemiseen ei selviä syitä varmuudella löydetty. Ensimmäisen valmistuserän prismoilla tätä halkeilua ei kuitenkaan havaittu. Tämän halkeilun vuoksi oli kuitenkin perusteltua poistaa tuote 6 kokeista, koska tästä saattaisi aiheutua turhaa epävarmuutta tuloksiin.



Kuva 6. Tuotteen 6 prismat ovat halkeilleet



Taulukko 3. Laastituotteiden jälkihoitoajat päivissä

Tuote	Säilytys aika 20 °C ± 2 °C:n lämpötilassa vuorokausina		
	Suhteellinen kosteus		
	95 % ± 5 %		65% ± 5 %
	Muotissa	Muotista poistettuna	Muotista poistettuna
Muurauslaasti	2	5	21
Korjauslaasti	2	19	7
Julkisivulaasti	2	19	7
Verkotuslaasti	2	19	7
Lattiamassa	2	5	21

## 3.2 Valmistelevat toimenpiteet

### 3.2.1 Prismat (SFS 5447)

Ensimmäisenä koekappaleet tarkastetaan silmämääräisesti mahdollisilta pintapuolisesti havaittavissa olevilta vaurioilta. Tämän jälkeen koekappale prismat mitataan dimensioiltaan sekä painot punnitaan ja tiedot kirjataan ylös. Kun tarvittavat tiedot on kirjattu ylös, voidaan aloittaa prismojen kyllästäminen vedellä. Tämä suoritetaan standardin SFS 4475 kohdan 6 mukaan. Imeytysvaihe kestää 7 päivän ajan. Imeytysvaiheen jälkeen prismat mitataan ultraäänimittauksin. Mittauksella saadaan tietoon ultraäänen läpimenoaikaan perustuva dynaamisen kimmokertoimen lähtöarvo, johon perustuu kokeiden jälkeen määritettävä kimmokertoimen muutos-%.

### 3.2.2 Prismat (Liite B)

Molempia menetelmiä A ja B varten koekappaleet tarkastettiin silmämääräisesti mahdollisilta pintapuolisesti havaittavissa olevilta vaurioilta.

Menetelmää A varten kolmen prisman dimensioid ja painot mitattiin ja tiedot kirjattiin ylös. Kun tiedot kirjattiin ylös, upotettiin koekappaleet vesiastiaan kahdeksi vuorokaudeksi ennen koestuksen aloittamista. Tämän jälkeen mitattiin ultraäänimittaukset kohdan 3.2.1 mukaisesti.

Menetelmää B varten koekappaleita kuivatettiin 105 °C uunissa 24 tunnin ajan. Tämän jälkeen prismat mitattiin dimensioiltaan sekä painot punnittiin ja tiedot

kirjattiin ylös. Kun tiedot kirjattiin ylös, upotettiin koekappaleet vesiastiaan kahdeksi vuorokaudeksi ennen koestuksen aloittamista. Tämän jälkeen mitattiin ultraäänimittaukset kohdan 3.2.1 mukaisesti.

### 3.2.3 Laattakoekappaleet

Koekappalekuutiot leikattiin haluttuun muotoon 21 d:n ikäisenä. Yhdestä kuutiosta sahattiin kaksi testikappaletta, jotka oli mitoiltaan 150 mm x 150 mm x 50 mm. Tämän jälkeen aloitettiin viikon mittainen esikäsittelyvaihe, jonka aikana koekappaleet vuorattiin ja tiivistettiin, siten että ainoastaan koestuspinta jäi vuoraamatta. Koekappaleiden vuoraamiseen käytettiin kermiä, joka liimattiin kiinni kuumentamalla. Kermin saumat tiivistettiin silikoonimassalla. Lopputuote näyttää kuvan 7 mukaiselta.



Kuva 7. Laattakoekappaleet esikäsittelyn jälkeen

Tämän jälkeen mitattiin koekappaleiden testipinnan pinta-alat ja koekappaleet punnitaan. Seuraava vaihe oli kolmen päivän mittainen vedenimeytysvaihe. Tämän imeytysvaiheen yhteydessä varmistui myös koekappaleen saumojen tiiveys. Imeytysvaiheen jälkeen koekappaleet mitattiin ultraäänimittauksin. Mittauksella

saatiin tietoon ultraäänen läpimenoaikaan perustuva dynaamisen kimmokertoimen lähtöarvo, johon perustuu kokeiden jälkeen määritettävä kimmokertoimen muutos-%. Kun valmistelevat toimenpiteet oli suoritettu, voitiin koekappaleet suojata EPS-laatikoilla. Tämä suojaa koekappaleita niiltä alueilta, joihin pakkarasitusta ei haluttu kohdistaa. Koestukseen valmis koekappale näyttää kuvan 8 mukaiselta.



Kuva 8. Koestukseen valmis laattakoe-kappale

### 3.3 Käytetyt laitteet

Seuraavassa listassa on lueteltu tutkimuksissa käytettyjen laitteiden mallit:

- Taivutus- ja puristuskoelaite - Controls, Sercomp7
- Kosteus- ja lämpötilansäätökaappi - Hermetel
- Lämpökaappi - Termaks, TS 4115
- Vaaka - Kern, FBK 36K 0,1

- Työntömitta - Mitutoyo Absolute Digimatic, CDC-60C
- Ilmamäärämittari - Form-Test, 1612
- Jäädytys-sulatusarkku - Kyamk
- Lämpötilansäätökaappi (Borås) - Accona
- Olosuhdekaappi - Vötsch Industrietechnik

## 4 TULOKSET

### 4.1 Tulokset standardin SFS 5447 mukaan

Koekappaleille tehtiin standardin SFS 5447 mukainen jäädytys-sulatuskoe 100 kierroksen kokeena. Koe käynnistettiin 35 d:n ikäisille koeprismoille.

Jäädytys-sulatuskokeen pakkasenkestävyyttä arvioitiin tekemällä rinnakkaiskokeena taivutusveto- ja puristuslujuuden testaus jäädytyskokeessa olleille koekappaleille ja standardin SFS 5341 mukaisesti vedessä säilytetyille vertailukoekappaleille.

Koekappaleiden kuntoa tarkasteltiin jaksojen välillä mittaamalla pakkaskoekappaleiden ultraäänen etenemisnopeutta kokeen alussa, 50 kierroksen jälkeen ja testin lopussa 100 kierroksen jälkeen. Suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos kokeen aikana määritettiin ultraäänen läpimenoajan suhteellisen muutoksen neliön avulla kaavasta (1).

$$\left( \frac{t_{\text{ultraääni-alku}}}{t_{\text{ultraääni-kierrosmäärä}}} \right)^2 \quad (1)$$

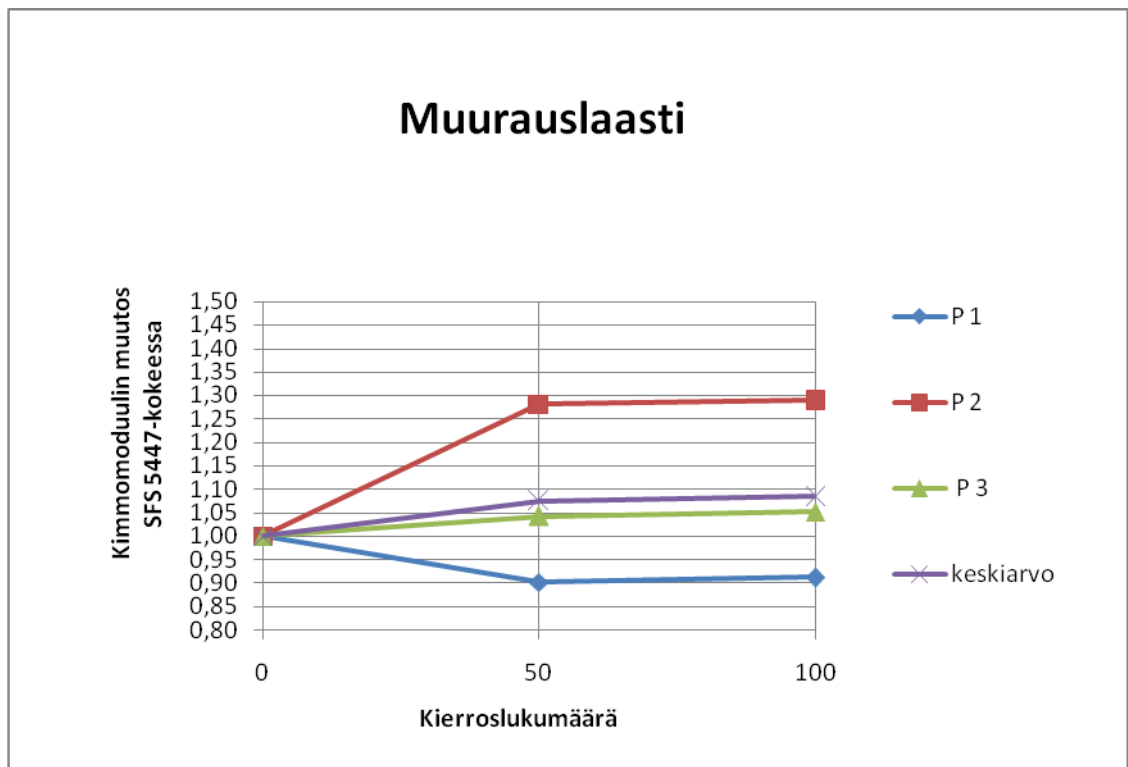
Taulukkoon 4 on koottu yhteenveto tuotteiden taivutusveto- ja puristuslujuuksien tulosten keskiarvoista ja kimmokertoimen muutoksesta alimmillaan. Kuvissa 9–13 on esitetty kimmokertoimen muutosta kuvaajana kokeen edetessä. Kuvat havainnollistavat kimmokertoimen muutoksen hajontaa pakkasrasitettujen

koekappaleiden P1–P3 välillä. Kokonaisuudessaan tulokset ja mittauspöytäkirjat on esitelty liitteessä 1.

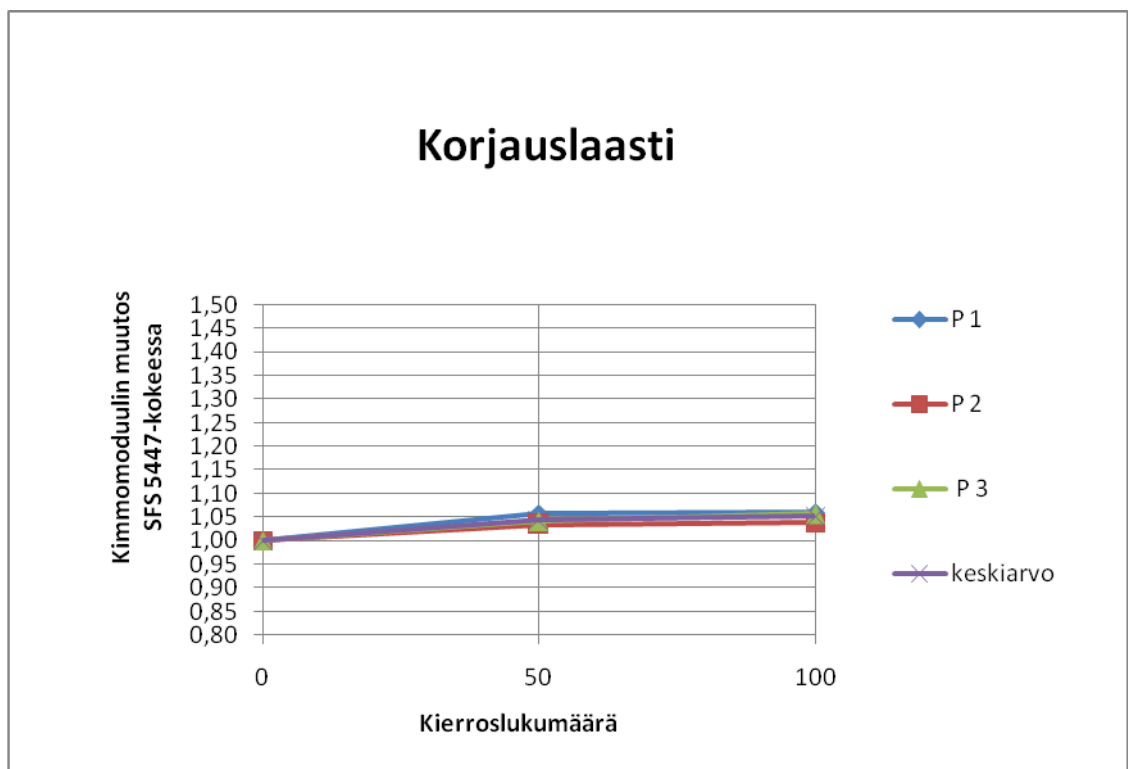
Taulukko 4. Yhteenveto testituloksista

Tuote	Taivutusvetolujuuden suhde [%]	Puristuslujuuden suhde [%]	Kimmokertoimen muutos alimmillaan [%]
Muurauslaasti	93	84	90
Korjauslaasti	83	103	100
Julkisivulaasti	86	105	100
Verkotuslaasti	85	100	100
Lattiamassa	53	78	33

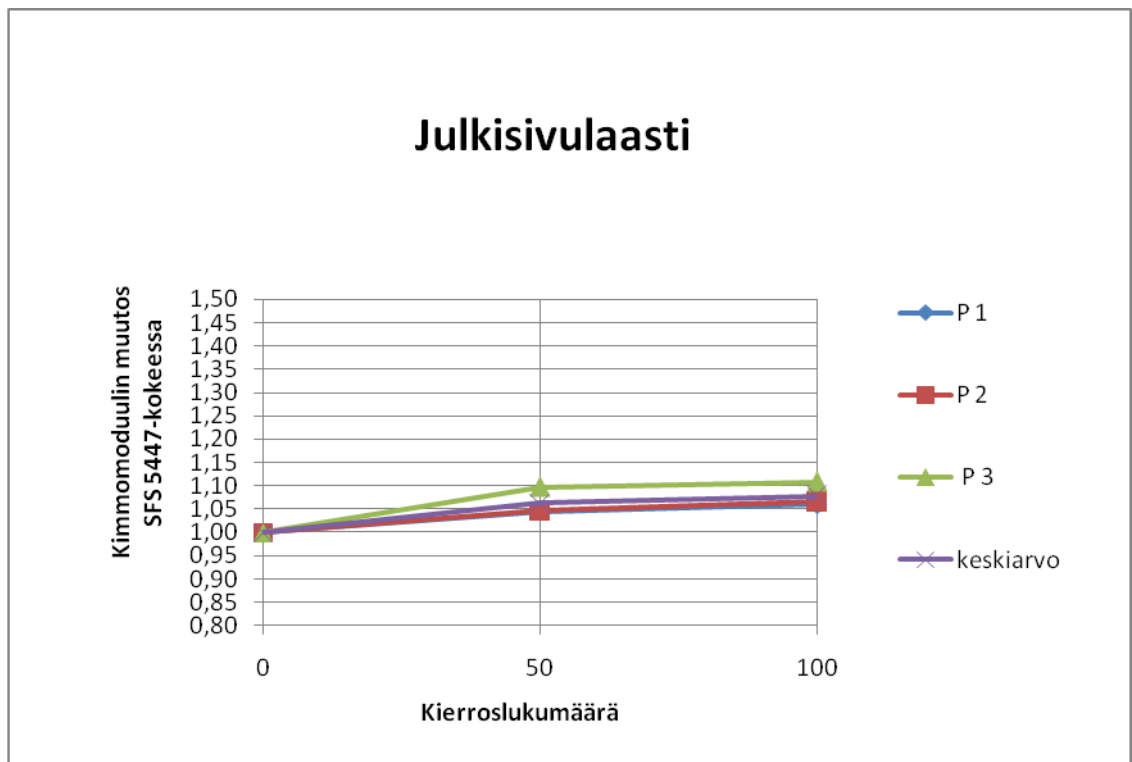
Betoninormit 2004 BY50 mukaan suunnittelukäyttöään ollessa 50 v, rasitusluokassa XF 1 ja syklien lukumäärän ollessa 100 annetaan taivutusvetolujuuksien suhteelle minimiarvoksi  $\geq 67$  % ja suhteelliselle dynaamiselle kimmokertoimelle minimiarvoksi  $\geq 75$  %. Näin ollen lattiamassa ei täytä betoninormien antamia vaatimuksia, muut tuotteet läpäisevät vaatimukset.



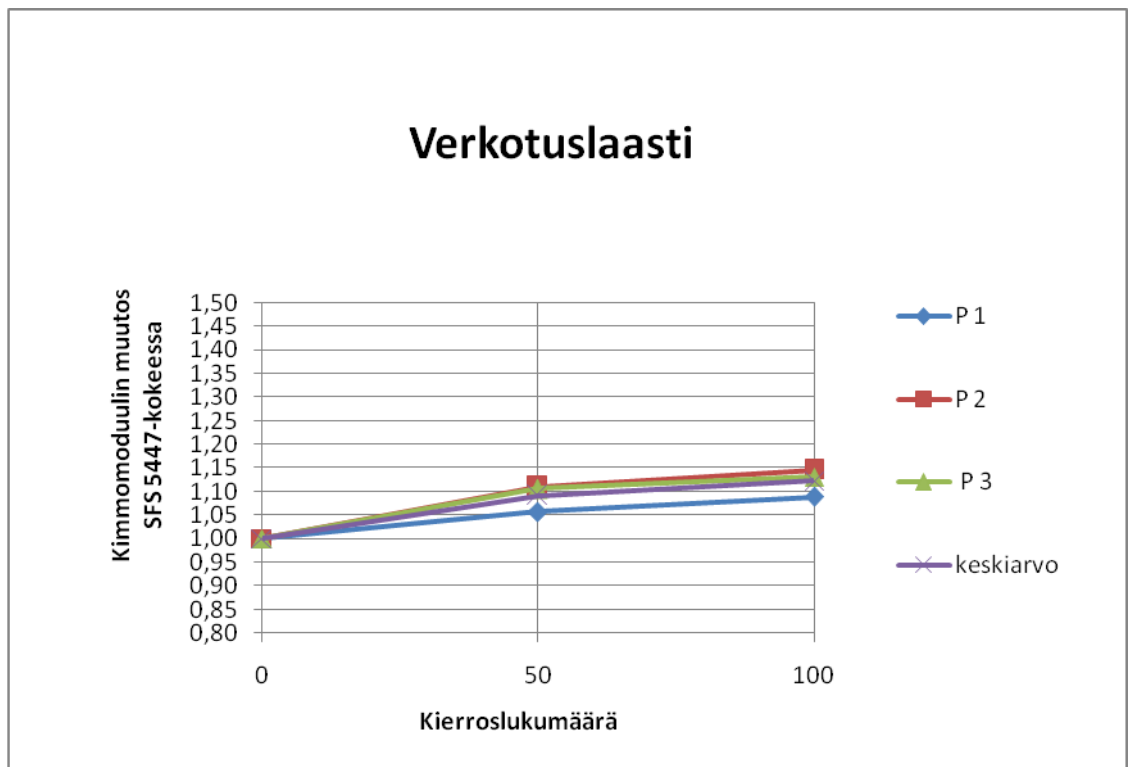
Kuva 9. Muurauslaastin kimmokertoimen muutos pakkasrasitettujen prismojen jäädytyskulatuskokeessa



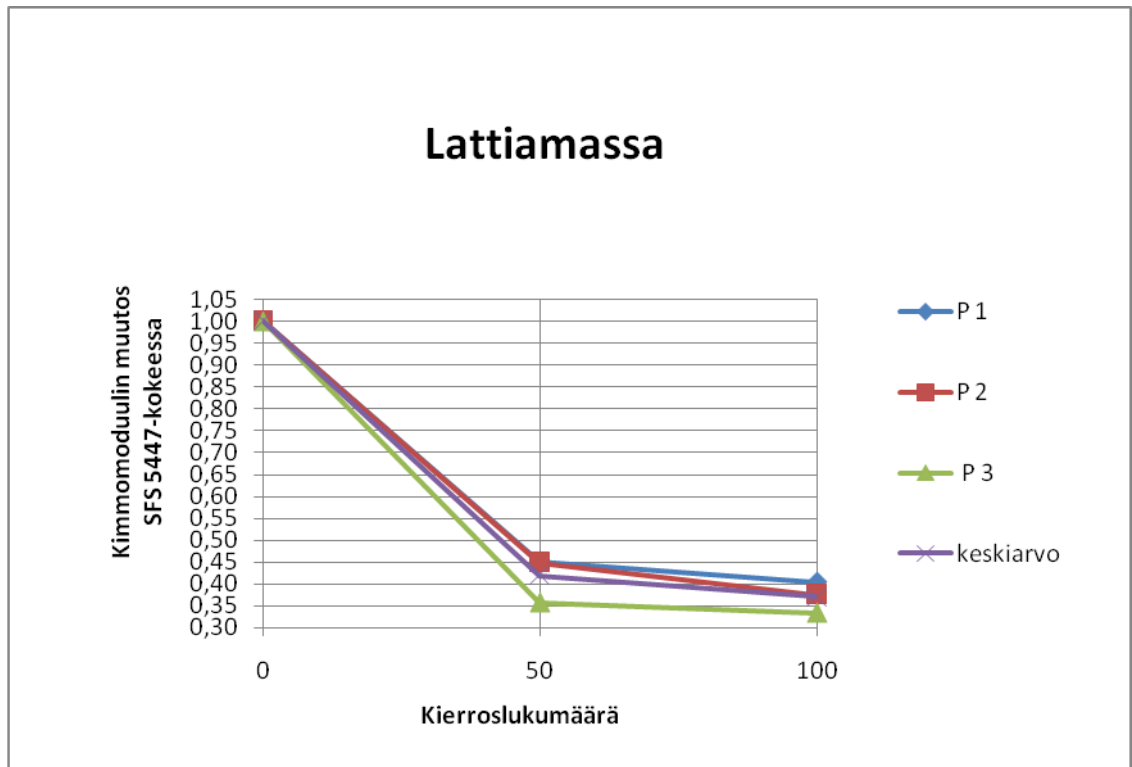
Kuva 10. Korjauslaastin kimmokertoimen muutos pakkasrasitettujen prismojen jäädytyskulatuskokeessa



Kuva 11. Julkisivulaastin kimmokertoimen muutos pakkasrasitettujen prismojen jäädytyssulatuskokeessa



Kuva 12. Verkotuslaastin kimmokertoimen muutos pakkasrasitettujen prismojen jäädytyssulatuskokeessa



Kuva 13. Lattiamassan kimmokertoimen muutos pakkasrasitettujen prismojen jäädytys-sulatuskokeessa

#### 4.2 Tulokset standardin Liite B mukaan

Koekappaleille tehtiin standardin Liite B mukainen jäädytys-sulatuskoe 100 kierroksen kokeena. Koe käynnistettiin 35 d:n ikäisille koeprismoille.

Jäädytys-sulatuskokeen pakkasenkestävyyttä arvioitiin tekemällä rinnakkaiskokeena taivutusvetolujuuden (menetelmä A) ja puristuslujuuden testaus jäädytyskokeessa olleille koekappaleille ja standardin Liite B mukaisesti säilytetyille vertailukoekappaleille. Vertailukoekappaleet säilytettiin olosuhdekaapissa, jonka suhteellinen kosteus asetettiin  $RH\ 65 \pm 5\%$ . Lisäksi suoritettiin menetelmä B:n mukainen punnituskoe.

Koekappaleiden kuntoa tarkasteltiin jaksojen välillä mittaamalla pakkaskoekappaleiden ultraäänien etenemisnopeutta kokeen alussa, 50 kierroksen jälkeen ja testin lopussa 100 kierroksen jälkeen. Suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos kokeen aikana määritettiin ultraäänien läpimenoajan suhteellisen muutoksen neliön avulla kaavasta (1).



Taulukkoon 5 on koottu yhteenveto tuotteiden taivutusveto- ja puristuslujuuksien tulosten keskiarvoista ja kimmokertoimen muutoksesta alimmillaan. Kuvissa 14–18 on esitetty kimmokertoimen muutosta kuvaajana kokeen edetessä. Kuvat havainnollistavat kimmokertoimen muutoksen hajontaa pakkasrasitettujen koekappaleiden P1-P3 välillä. Menetelmä b:n punnitustulokset sekä painohäviö-% ovat esitelty taulukossa 6. Kokonaisuudessaan tulokset ja mittauspöytäkirjat ovat esitelty Liitteessä 2.

Taulukko 5. Yhteenveto testituloksista menetelmällä A

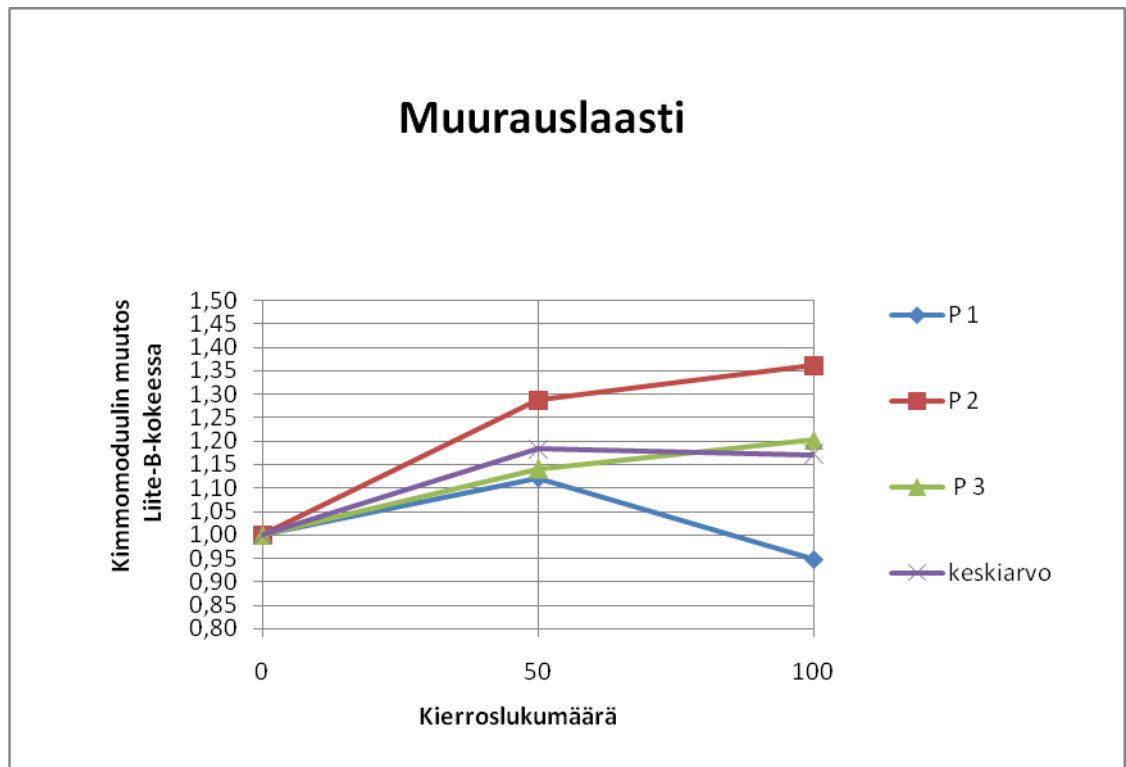
Tuote	Taivutusvetolujuuden suhde [%]	Puristuslujuuden suhde [%]	Kimmokertoimen muutos alimmillaan [%]
Muurauslaasti	114	145	95
Korjauslaasti	67	108	100
Julkisivulaasti	90	113	100
Verkotuslaasti	97	104	100
Lattiamassa	100	113	85

Taulukko 6. Yhteenveto testituloksista menetelmällä B

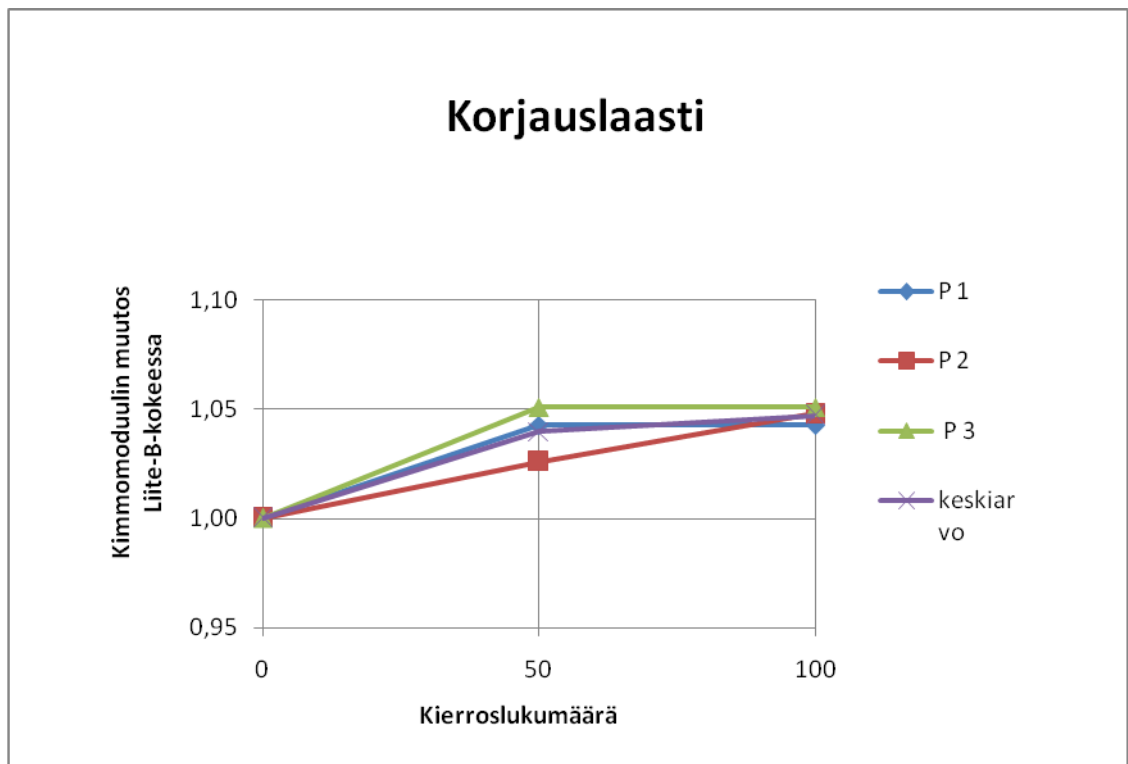
Tuote	Massa alussa [g]	Massa lopussa [g]	Painohäviö [%]
Muurauslaasti	430,6	430,0	0,13
Korjauslaasti	508,3	508,2	0,03
Julkisivulaasti	428,9	428,9	0
Verkotuslaasti	361,3	361,3	0
Lattiamassa	481,2	481,1	0,01

Liite B:n mukaan pakkasrasitettujen prismojen taivutuslujuuden tulee olla 2/3 vertailukappaleiden lujuudesta (menetelmä A) sekä painohäviö-% tulee olla alle 0,5 % (menetelmä B). Liite B ei sisällä vaatimuksia dynaamisen kimmokertoimen suhteen. Tuotteet läpäisevät annetut vaatimukset.

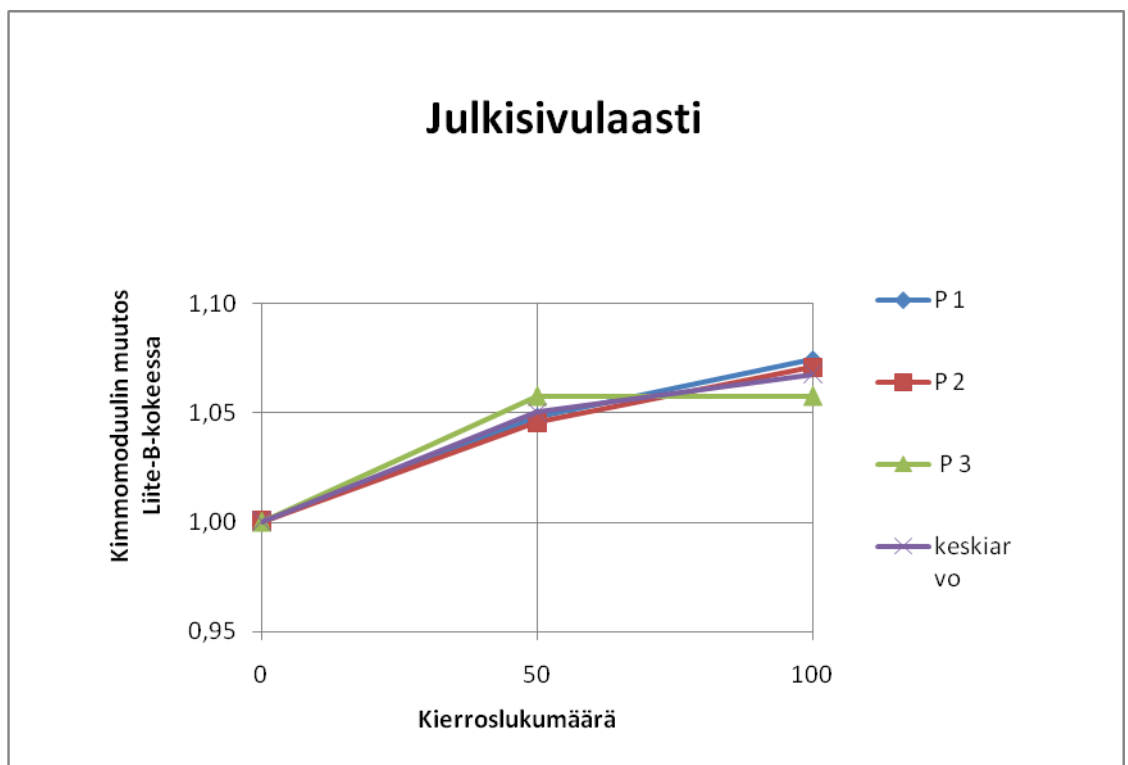
Mikäli tuloksia tarkastellaan betoninormit 2004 BY50 mukaan, jossa taivutusvetolujuuksien suhteen minimiarvoksi tulee  $\geq 67$  % ja suhteelliselle dynaamisen kimmokertoimen minimiarvoksi  $\geq 75$  %. Kaikki tuotteet läpäisevät myös nämä vaatimukset.



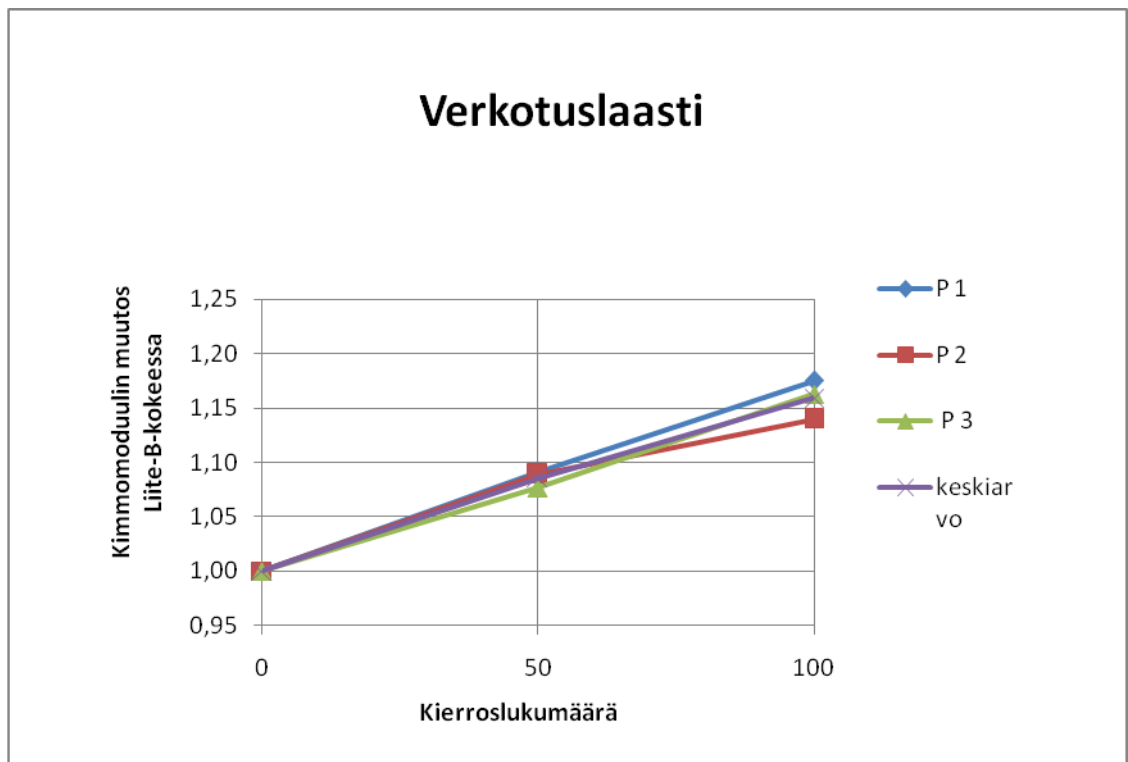
Kuva 14. Muurauslaastin kimmokertoimen muutos pakkasrasitettujen prismojen jäädytyssulatuskokeessa



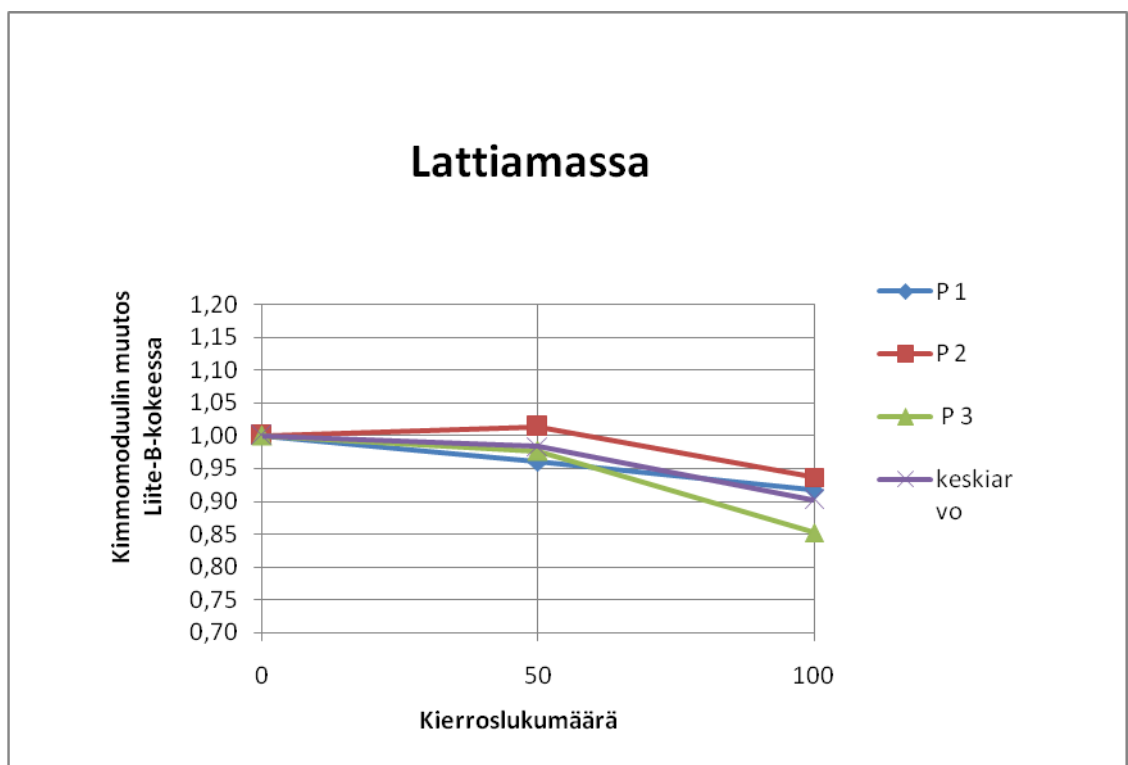
Kuva 15. Korjauslaastin kimmokertoimen muutos pakkastrasitettujen prismojen jäädytyskulatuskokeessa



Kuva 16. Julkisivulaastin kimmokertoimen muutos pakkastrasitettujen prismojen jäädytyskulatuskokeessa



Kuva 17. Verkotuslaastin kimmokertoimen muutos pakkasrasitettujen prismojen jäädytyssulatuskokeessa



Kuva 18. Lattiamassan kimmokertoimen muutos pakkasrasitettujen prismojen jäädytyssulatuskokeessa

#### 4.3 Tulokset standardin CEN/TS 12390-9 (56 d) mukaan

Koekappaleille tehtiin standardin CEN/TS 12390-9 mukainen jäädytyskulatuskoe 56 kierroksen kokeena käyttäen vettä (menetelmä B). Koe käynnistettiin 35 vuorokauden ikäisille betonikoekappaleille.

Kappaleista testaukseen asetettiin standardin mukaisesti sahapinta.

Koekappaleiden kuntoa tarkasteltiin jaksojen välillä mittaamalla pakkaskoekappaleiden ultraäänien etenemisnopeutta kokeen alussa, 7 d:n, 28 d:n, 56 d:n ikäisenä. Suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos kokeen aikana määritettiin ultraäänien läpimenoajan suhteellisen muutoksen neliön avulla kaavasta (1).

Taulukkoon 7 on koottu yhteenveto tuotteiden rapaumasta ja kimmokertoimen muutoksesta alimmillaan. Kuvissa 19–28 on esitetty rapautumista sekä kimmokertoimen muutosta kuvaajina kokeen edetessä. Kuvat havainnollistavat muutosten hajontaa pakkasrasitettujen koekappaleiden P1–P4 välillä. Kokonaisuudessaan tulokset ja mittauspöytäkirjat on esitelty liitteessä 3.

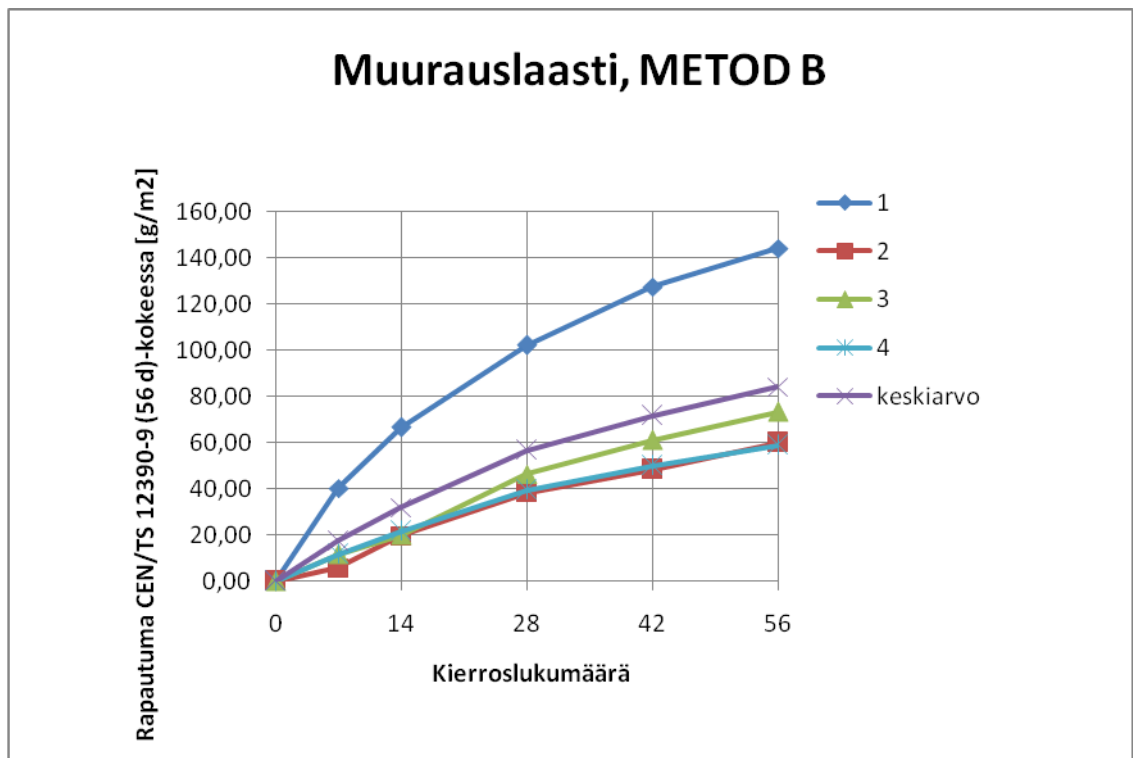
Taulukko 7. Yhteenveto testituloksista

Tuote	Rapauma [g/m <sup>2</sup> ]	Kimmokertoimen muutos alimmillaan [%]
Muurauslaasti	84	100
Korjauslaasti	7,9	98
Julkisivulaasti	3,7	94
Verkotuslaasti	15,2	92
Lattiamassa	553,8	100

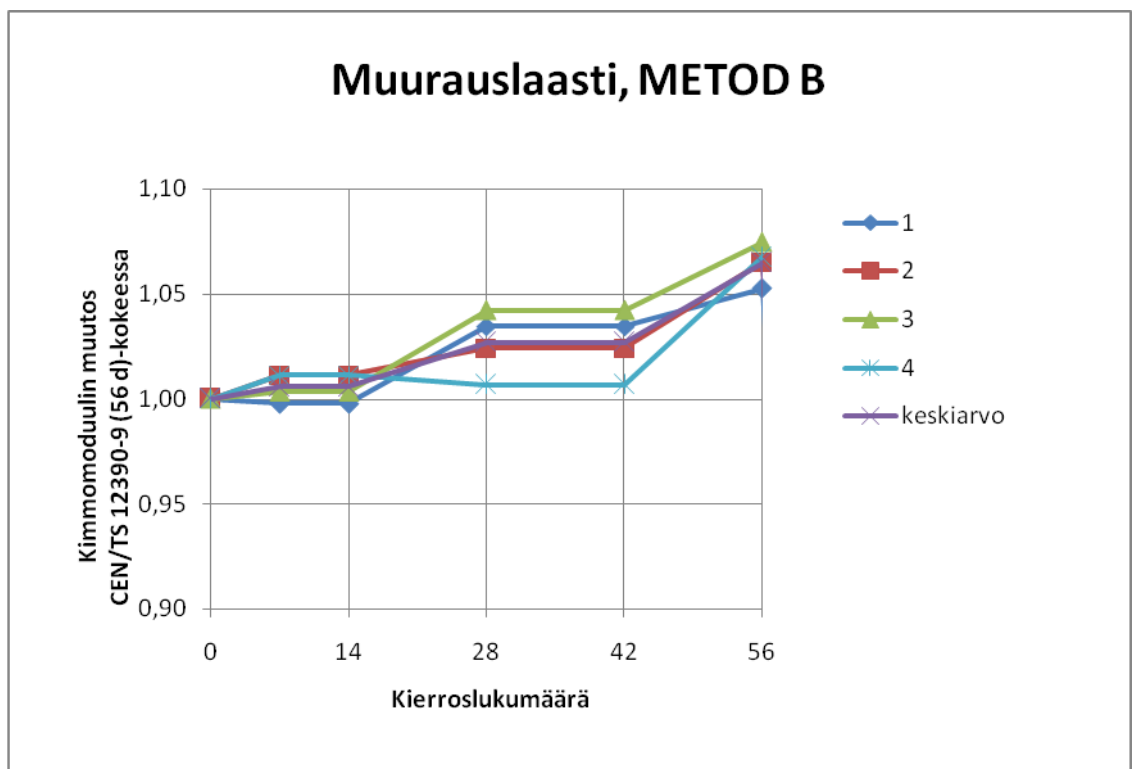
Taulukko 8. Betoninormit 2004 BY50:n vaatimukset laattakokeelle

Suunniteltu käyttöikä [a]	Rasitusluokka	Rapauma [g/m <sup>2</sup> ]	Suhteellisen dynaamisen kimmokertoimen muutos [%]
50	XF1	≤ 500	≥ 67
	XF3	≤ 200	≥ 75
100	XF1	≤ 200	≥ 75
	XF3	≤ 100	≥ 85
200	XF1	≤ 100	≥ 85

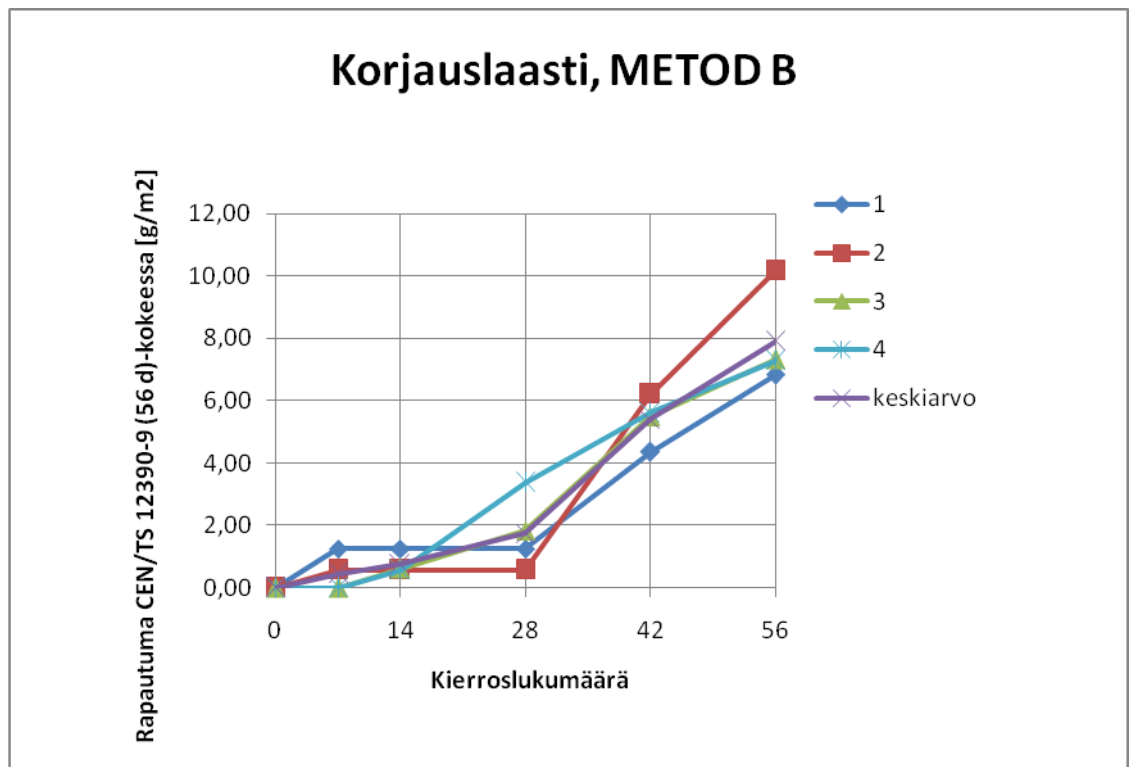
Taulukossa 8 on esitetty laattakokeen tulosten vaatimukset. Laattakokeen tulosten perusteella ainoastaan lattiamassa ei täyttänyt mitään näistä vaatimuksista. Kaikki muut tuotteet läpäisivät kovimmatkin vaatimukset, eli tuotteiden suunniteltu käyttöikä saa olla 200 vuotta sekä rasitusluokka XF1.



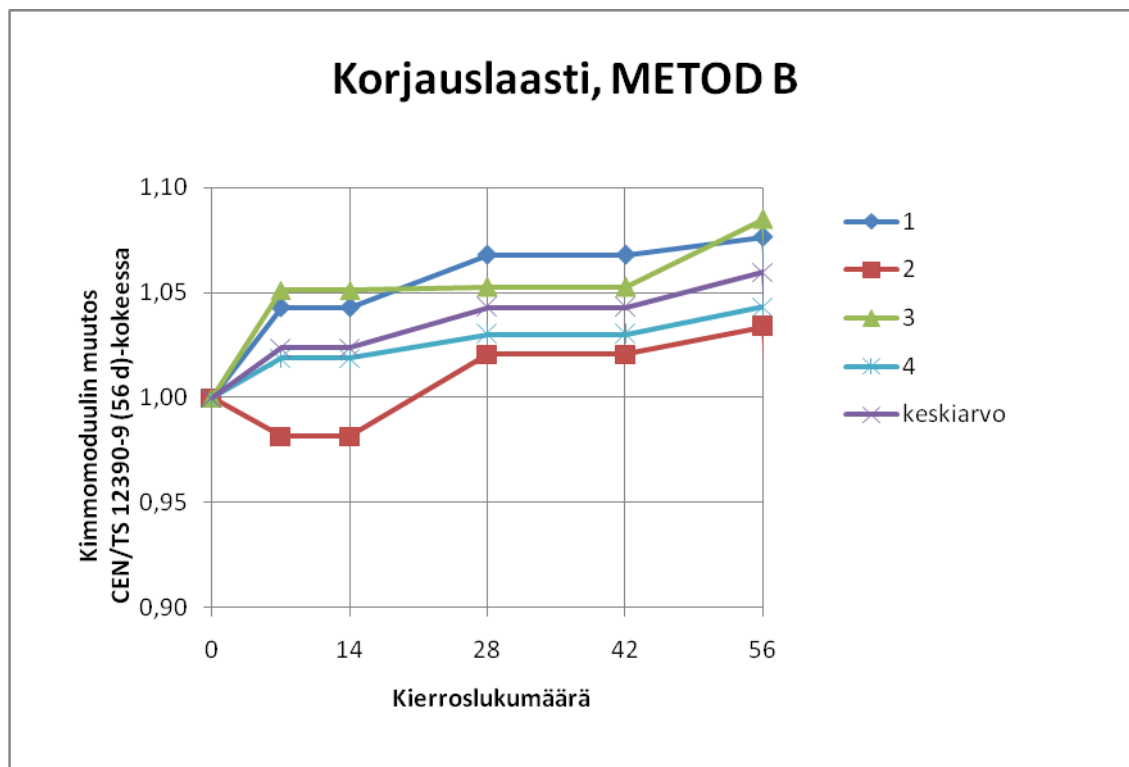
Kuva 19. Muurauslaastin rapauma [ $\text{g/m}^2$ ] kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)



Kuva 20. Muurauslaastin kimmokertoimen muutos kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)

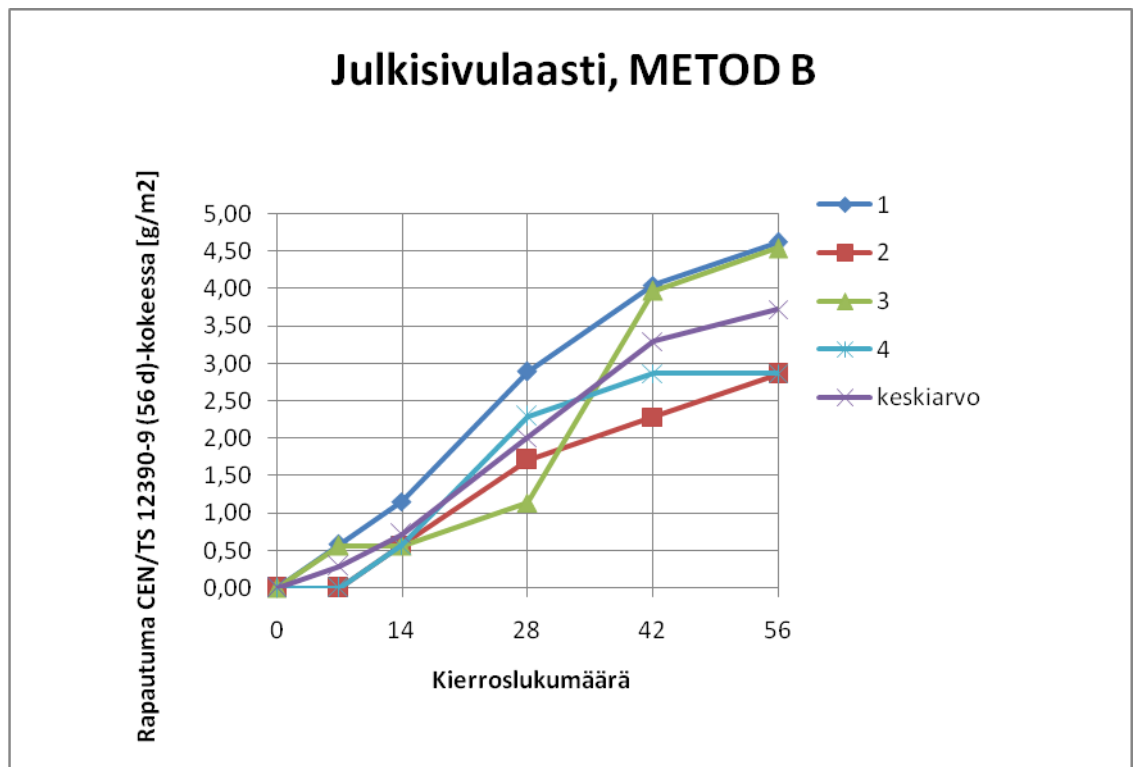


Kuva 21. Korjauslaastin rapautuma [ $\text{g}/\text{m}^2$ ] kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)

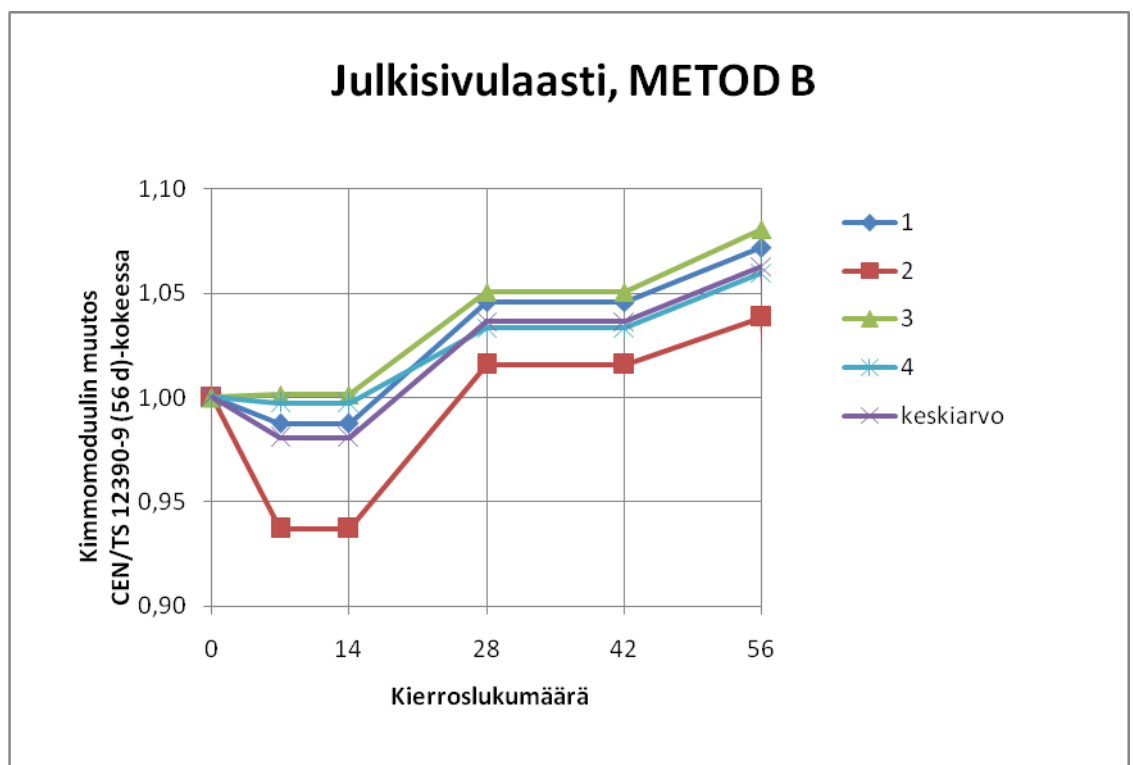


Kuva 22. Korjauslaastin kimmokertoimen muutos kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)

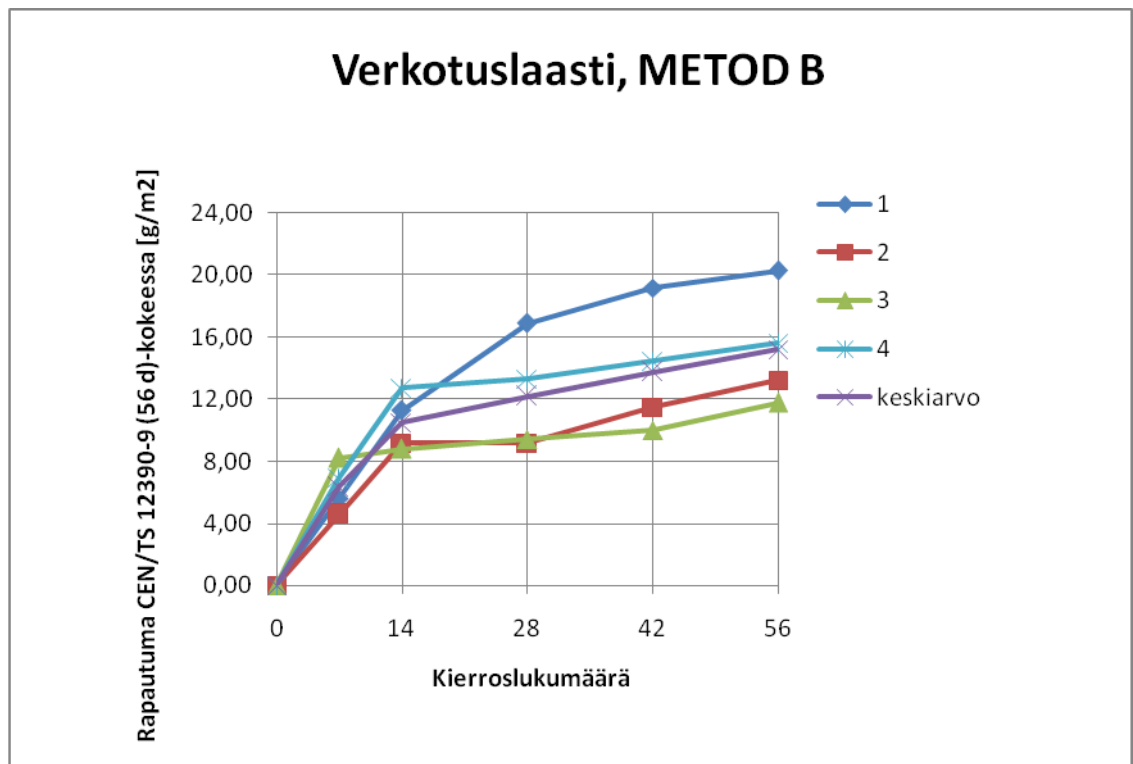




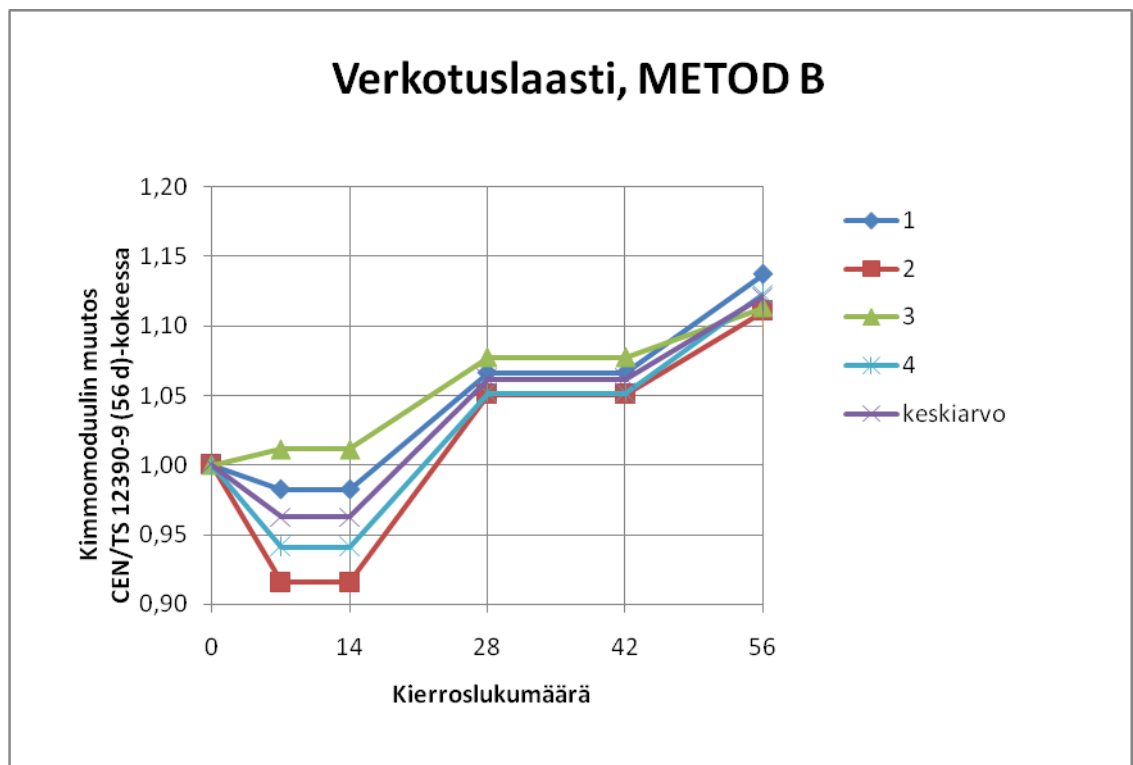
Kuva 23. Julkisivulaastin rapautuma [g/m<sup>2</sup>] kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)



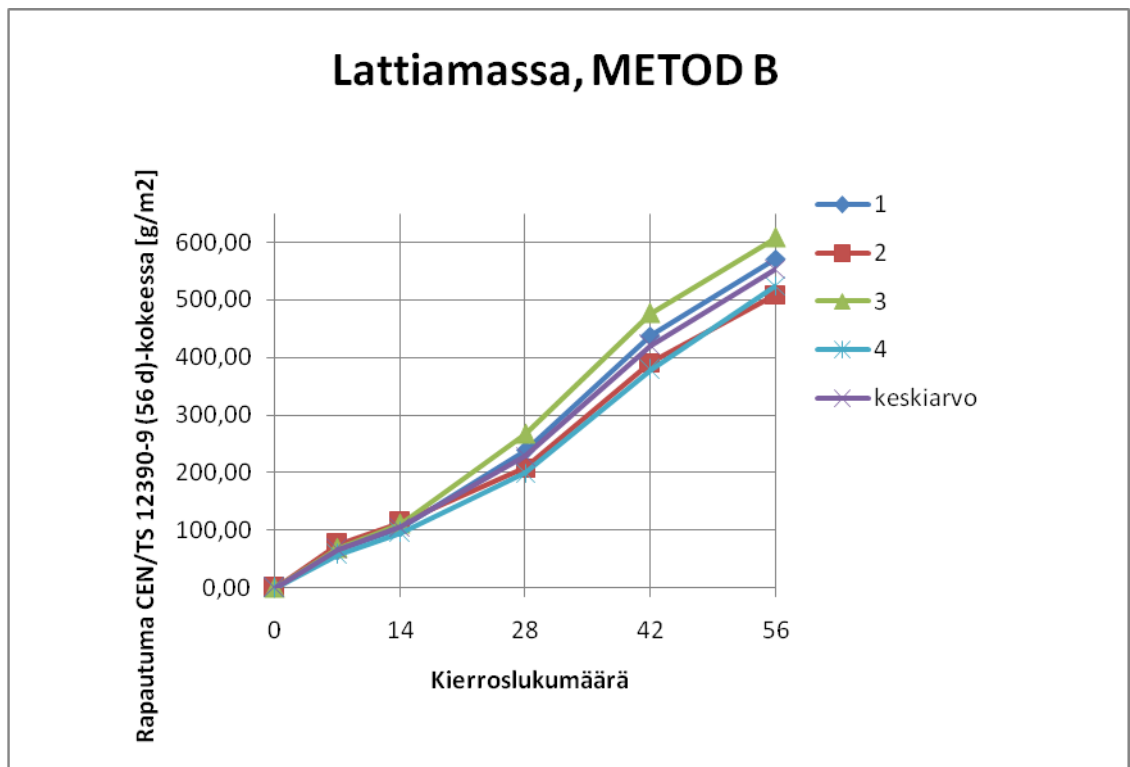
Kuva 24. Julkisivulaastin kimmokertoimen muutos kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)



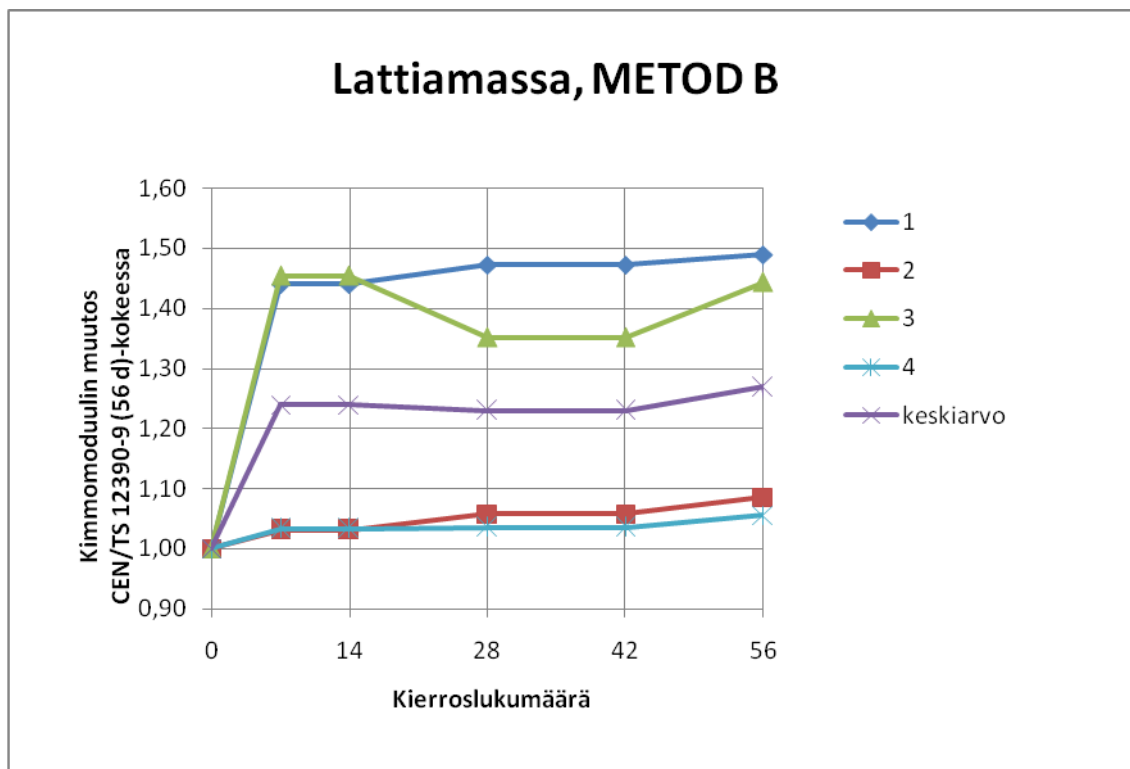
Kuva 25. Verkotuslaastin rapautuma [ $\text{g/m}^2$ ] kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)



Kuva 26. Verkotuslaastin kimmokertoimen muutos kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)



Kuva 27. Lattiamassan rapauma [ $\text{g/m}^2$ ] kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)



Kuva 28. Lattiamassan kimmokertoimen muutos kokeessa CEN/TS 12390-9 (menetelmä B)

#### 4.4 Ohuthietutkimuksen tulokset

Kolmesta laastityypistä teetettiin ohuthietutkimukset WSP Finland Oy:n laboratoriossa. Tutkimuksiin valittiin tuotteista muurauslaasti, verkotuslaasti sekä julkisivulaasti. Ohuthietutkimuksilla saatiin selvitettyä laastin koostumus, pakkasrapautuneisuus sekä muut haitalliset kiteymät huokostilassa. Tuotteista tutkittiin SFS 5447 sekä Liite B:n mukaan pakkasrasitetut koekappaleet. Näillä tutkimuksilla saatiin varmistettua laastin koostumusten yhtenevyys sekä pakkasrasituksen aiheuttamat vauriot mikrorakennetasolla. Tulosten yhteenvedo on esitelty seuraavassa kappaleessa. Kokonaisuudessaan tutkimustulokset ovat esitelty liitteessä 4.

Rappaukset ovat rakenteeltaan ja laadultaan tasalaatuisia tai suhteellisen tasalaatuisia. Samat laastityypit ovat koostumukseltaan yhtenevät. Kutistuminen on arviolta ollut erittäin vähäistä, eikä siihen viittaavaa säröilyä havaittu. Laastit ovat arviolta sementtirikkaita. Verkotuslaasteissa (V-SFS5447, V-Liite B) on käytetty seosaineita (lentotuhka, silika) sekä muovikuituja. Huokosrakenteen perusteella laastien pakkasenkestävyys on hyvä eikä rapautumista havaittu. Merkittäviä määriä uudelleen kiteytymisen aiheuttamia sekundäärisiä mineraaleja tai haitallisia kiteytymiä ei havaittu. Näytteessä M-SFS5447 huokostiloihin on kiteytynyt mahdollisesti erittäin vähän haitallisia ettringiitti kiteytymiä.

#### 4.5 Tulosten taivutus-veto- ja puristusjuuksien vertailu

Seuraavassa taulukossa 9 on tulokset kummankin jäädytys-sulatuskokeen taivutus-vetolujuuksien tulokset sekä valmistajan lupaamat arvot, joiden tulisi täyttyä. On kuitenkin huomioitava, että kokeet tulisi tehdä 28 vuorokauden ikäisille kappaleille. Tässä käytetyt tulokset ovat vertailukoekappaleiden taivutus-vetolujuuden arvoja ja koekappaleiden ikä on noin 61 vuorokautta. Lattiamassan valmistaja ei ole määritellyt taivutus-vetolujuuden arvoa.

Taulukko 9. Taivutus-vetolujuuksien arvoja

Taivutus-vetolujuudet [N/mm <sup>2</sup> ]			
Tuote	Valmistaja	SFS5447	Liite B
Muurauslaasti	1	1,5	2,3
Korjauslaasti	3	4,7	7,3
Julkisivulaasti	2	4,1	5,5
Verkotuslaasti	3	2,9	4,7

Kaikki laastituotteet läpäisevät valmistajan antamat taivutus-vetolujuuden arvot ja näin täyttävät vaatimukset.

Seuraavassa taulukossa 10 on tulokset kummankin jäädytys-sulatuskokeen puristuslujuuksien tulokset sekä valmistajan lupaamat arvot, joiden tulisi täyttyä. On kuitenkin huomioitava, että kokeet tulisi tehdä 28 vuorokauden ikäisille kappaleille. Tässä käytetyt tulokset ovat vertailukoekappaleiden puristuslujuuden arvo ja koekappaleiden ikä on noin 61 vuorokautta.

Taulukko 10. Puristuslujuuksien arvoja

Puristuslujuudet [N/mm <sup>2</sup> ]			
Tuote	Valmistaja	SFS5447	Liite B
Muurauslaasti	4	9,2	5,7
Korjauslaasti	25	27,9	29,6
Julkisivulaasti	10	16,5	16,1
Verkotuslaasti	20	14,9	13,5
Lattiamassa	20	24,7	20,2

Verkotuslaastia lukuunottamatta tuotteet läpäisevät valmistajan antamat puristuslujuuden arvot ja näin täyttävät vaatimukset.

## 5 TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT

### 5.1 Epävarmuustekijät

Laastit valmistettiin kahdessa erässä, minkä vuoksi massat eivät välttämättä ole tasalaatuisia. Tästä saattaa aiheutua epävarmuutta kokeiden tuloksiin. Tähän on syynä se, ettei jäädytys-sulatuslaitteistoa ollut käytössä kuin yksi kappale eikä kahden eri standardin mukaisia asetuksia ollut mahdollista asettaa samanaikaisesti. Ilmamäärän mittaustuloksista saadaan jo viitteitä siitä, ettei massoista saatu täysin tasalaatuisia. Kuitenkin ohuthietutkimuksista selvisi muurauslaastin, julkisivulaastin ja verkotuslaastin koostumuksen yhtenevyys ja tasalaatuisuus. Kuvissa 29–33 on kummankin standardin mukaan pakkasrasitetut koekappaleet. Silmämääräisten tarkastelujen perusteella laastimassat näyttävät tasalaatuisilta lukuun ottamatta lattiamassaa. Kokeet tulisi toistaa useampaan kertaan samoilla tuotteilla, jotta tulosten luotettavuudesta voidaan saada varmuutta.



Kuva 29. Korjauslaasti koekappaleet. Vasemmalla Liite B ja oikealla SFS 5447.

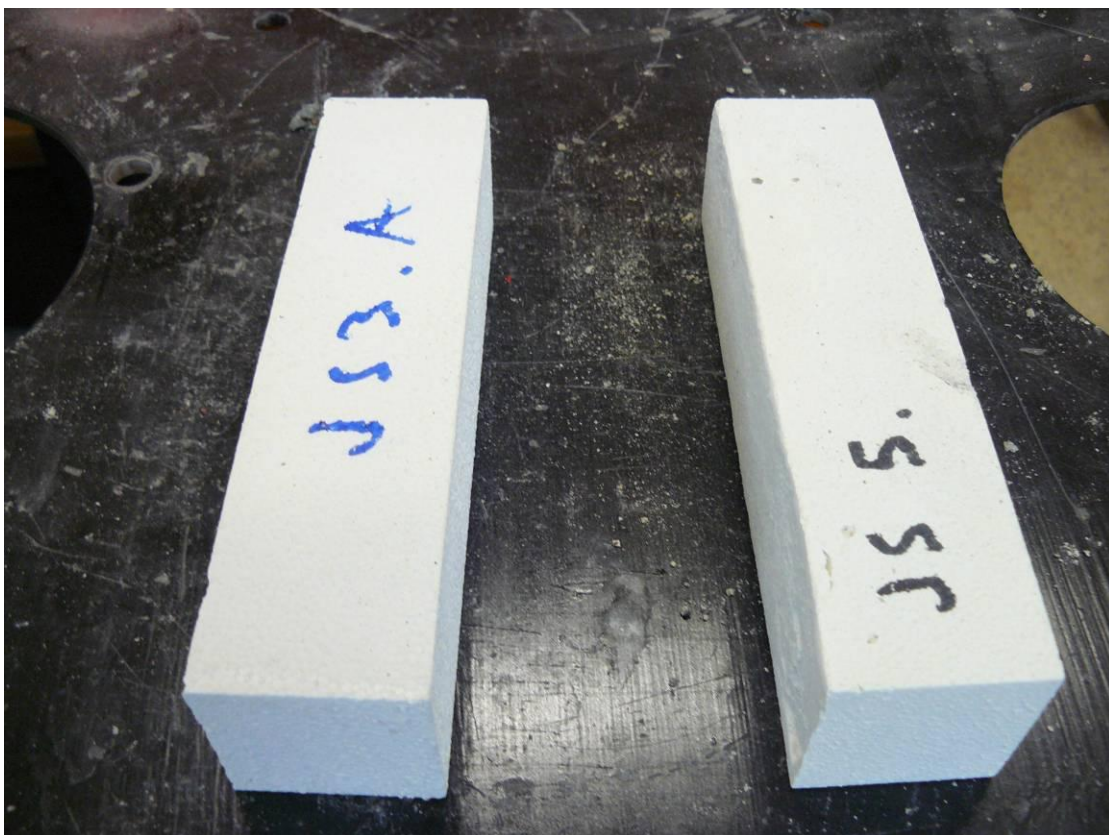


Kuva 30. Verkotuslaasti koekappaleet. Vasemmalla Liite B ja oikealla SFS 5447.





Kuva 31. Muurauslaasti koekappaleet. Vasemmalla Liite B ja oikealla SFS 5447.



Kuva 32. Julkisivulaasti koekappaleet. Vasemmalla Liite B ja oikealla SFS 5447.





Kuva 33. Lattiamassa koekappaleet. Vasemmalla Liite B ja oikealla SFS 5447.

## 5.2 Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset

Loppupäätelmien tueksi on koottu taulukot 11–13 kuvaamaan taivutus-vetolujuuksien, puristuslujuuksien sekä kimmomoduulin muutoksen suhdetta menetelmien SFS 5447 sekä Liite B välillä. Taulukoissa on myös vertailtu sitä, millaisia tuloksia SFS5447:n mukaisesti kuormitetut koekappaleet antavat verrattuna Liite B:n mukaan kuormitettuihin nähden.

Taulukko 11. Taivutus-vetolujuuksien suhde menetelmien välillä

Taivutus-vetolujuuksien suhde [%]			
Tuote	SFS5447	Liite B	SFS5447 / Liite B [%]
Muurauslaasti	93	114	82
Korjauslaasti	83	67	124
Julkisivulaasti	86	90	96
Verkotuslaasti	85	97	88
Lattiamassa	53	100	53
KESKIARVO	80	94	88

Taulukko 12. Puristuslujuuksien suhde menetelmien välillä

Puristuslujuuksien suhde [%]			
Tuote	SFS5447	Liite B	SFS5447 / Liite B [%]
Muurauslaasti	84	145	58
Korjauslaasti	103	108	95
Julkisivulaasti	105	113	93
Verkotuslaasti	100	104	96
Lattiamassa	78	113	69
KESKIARVO	94	117	82

Taulukko 13. Kimmomoduulin muutoksen suhde menetelmien välillä

Kimmomoduulin muutos alimmillaan [%]			
Tuote	SFS5447	Liite B	SFS5447 / Liite B [%]
Muurauslaasti	90	95	95
Korjauslaasti	100	100	100
Julkisivulaasti	100	100	100
Verkotuslaasti	100	100	100
Lattiamassa	33	85	39
KESKIARVO	85	96	87

Liite B:n mukaan kuormitetut lattiamassa koekappaleet antavat poikkeuksellisen hyviä tuloksia verrattuna SFS 5447 mukaan kuormitettuihin koekappaleisiin. Lattiamassan massan valmistusprosessissa on mahdollisesti tapahtunut eroja valmistetuissa erissä, joten tuloksien suuret erot verrattuna muihin tuotteisiin johtuvat mahdollisesti tästä.

On kuitenkin mahdollista, että menetelmä SFS 5447 on rasittanut lattiamassakoekappaleita enemmän, jolloin rapautuminen on ollut voimakkaampaa. SFS 5447-koekappaleiden pinta on silmämääräisten havaintojen perusteella hiekkamaista, mikä viittaa vahvasti pakkasrapautumiseen. Tämän tuotteen osalta koe olisi syytä toistaa, jotta saadaan varmuus johtuvatko erot menetelmistä. Myös korjauslaastin Liite B-menetelmässä on poikkeavan alhainen taivutus-vetotulos. Tämänkin tuotteen kohdalla koe olisi hyvä toistaa ja näin varmistua siitä, ettei kyseessä ole vain sattuma. Kokemuksen perusteella taivutua-vetolujuuksissa sekä puristuslujuuksissa tulee aika ajoin poikkemia tuloksiin määrittelemättömistä syistä.

Mikäli tarkastellaan tuloksia laskennallisesti, on kaikki tuotteet mukaan luettuna SFS5447 koekappaleille kuormittavampi testimenetelmä. Taivutus-vetolujuuden keskiarvo SFS 5447-menetelmällä on 14 % huonompi kuin Liite B-menetelmällä. Puristuslujuuden keskiarvo SFS 5447 menetelmällä on 23 % huonompi kuin Liite B-menetelmällä. Kimmomoduulin muutoksen suhteen keskiarvo SFS 5447-menetelmällä on 11 % huonompi kuin Liite B-menetelmällä.

Mikäli jätetään lattiamassa tarkastelujen ulkopuolelle, taivutus-vetolujuuden keskiarvo SFS 5447-menetelmällä on 5 % huonompi kuin Liite B-menetelmällä. Puristuslujuuden keskiarvo SFS 5447-menetelmällä on 20 % huonompi kuin Liite B-menetelmällä. Kimmomoduulin muutoksen suhteen keskiarvo SFS 5447-menetelmällä on 1 % huonompi kuin Liite B-menetelmällä. Tämä tarkastelu on perusteltua tehdä, koska tuote ei ole arviolta pakkasenkestävä ja menetelmät on kehitetty pakkasenkestävien laastien testaukseen.

Yhteenvetona voidaan todeta menetelmän SFS 5447 pakkasrasituksen olevan suurempi. Tähän syyt löytyvät todennäköisesti lämpötilaeroista, joita menetelmien välillä on havaittavissa. Menetelmässä SFS 5447 pakkasolosuhde luodaan nopeammin ja lämpötila matalammaksi, kun taas Liite B-menetelmässä lämpötila ei ole yhtä matala, mutta hieman pitkäkestoisempi. Myös toinen selvästi vaikuttava seikka on referenssiprismojen säilytys. SFS 5447 mukaan referenssiprismat säilytetään  $RH \pm 95\%$ :ssa ja Liite B:n referenssiprismat  $RH \pm 65\%$ :ssa. Tämä kosteusero mahdollistaa referenssiprismojen paremman lujittumisen Liite B-referenssiprismoille. Näin ollen on hyvin selvää, että menetelmä Liite B antaa paremmat tulokset.

Näiden johtopäätösten perusteella on syytä miettiä, kumpaa menetelmää olisi perusteltua käyttää laastien koestukseen. Betonille tarkoitettu SFS 5447-koestusmenetelmä on mahdollisesti liian ankara laastikoekappaleille ja näin olisi perusteltua käyttää Liite-menetelmää laastien pakkasenkestävyyden määrittämiseen. Kuitenkin mikäli laasti kestää SFS 5447:n mukaiset jäädytys-sulatuskokeet laastin kestävyys on reilusti varmallalla puolella.

Tämän syksyn aikana olisi myös tarkoitus valmistua uusia koestusohjeita muuraus- ja rappaus-laastien pakkasenkestävyyteen. Hankkeen kehittämiseen on lähtenyt mukaan muun muassa Optiroc Oy, Skanska Oy ja Museovirasto. On mielenkiintoista myös nähdä, millaisia tuloksia näistä tutkimuksista saadaan ja tuleeko laastien osalta koestusta ohjaaviin standardeihin muutoksia. (9)

## LÄHTEET

1. Mikä on SFS? Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa:

[http://www.sfs.fi/sfs\\_lyhyesti](http://www.sfs.fi/sfs_lyhyesti) [viitattu 14.2.2011]

2. SFS:n tehtävät

[http://www.sfs.fi/sfs\\_lyhyesti/tehtavat](http://www.sfs.fi/sfs_lyhyesti/tehtavat) [viitattu 14.2.2011]

3. Mikä on standardi?

[http://www.sfs.fi/standardisointi/tietoa\\_standardeista/mika\\_standardi](http://www.sfs.fi/standardisointi/tietoa_standardeista/mika_standardi) [viitattu 16.2.2011]

4. Standardien tarkoitus ja hyödyt

[http://www.sfs.fi/standardisointi/tietoa\\_standardeista/tarkoitus](http://www.sfs.fi/standardisointi/tietoa_standardeista/tarkoitus) [viitattu 16.2.2011]

5. SFS-Käsikirja - Betonin testaus 2002. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto

6. SFS-Käsikirja - 176 Muuratut tuotteet 2007. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto

7. Betoninormit 2004 BY50. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y.

8. Betonitekniikan oppikirja 2004 BY201. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y.

9. Tompuri, V. Laastien pakkasenkestävyydessä yhä tutkittavaa

<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/4364.html> [viitattu 13.4.2011]

## LIITTEET

Tässä liitessä on esitetty koekappaleiden mittatiedot sekä testitulokset taulukoissa A1-A25. Koekappaleiden tunnus P tarkoittaa pakkasrasitettua koekappaletta ja tunnus V tarkoittaa vertailukappaletta.

Taulukko A1 muurauslaasti koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	40,3	39,8	159,7	447	0,26	1745
P2	41,0	39,8	160,1	457	0,26	1750
P3	41,9	39,9	159,9	465	0,27	1739
V1	40,0	39,9	159,9	446	0,26	1747
V2	41,1	39,9	159,9	455	0,26	1734
V3	40,3	40,0	159,8	446	0,26	1729
Keskiarvo:	40,8	39,9	159,9	452,7	0,26	1741
Keskihajonta:	0,7	0,1	0,1	7,8	0,00	8,1

Taulukko A2 muurauslaastin taivutusvetolujuus tulokset vertailukappalet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	1,6	0,68
V 2	1,6	0,72
V 3	1,4	0,59
Keskiarvo	1,5	0,7
Keskihajonta	0,1	0,07

Taulukko A3 muurauslaastin taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappalet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	1,3	0,55
P 2	1,5	0,64
P 3	1,6	0,70
Keskiarvo	1,4	0,6
Keskihajonta	0,14	0,08

Taulukko A4 muurauslaastin puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	7,8	12,50
P1	7,3	11,73
P2	7,6	12,16
P2	7,7	12,39
P3	7,7	12,26
P3	8,0	12,76
Keskiarvo	7,7	12,3
Keskihajonta	0,22	0,35

Taulukko A5 muurauslaastin puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	9,2	14,71
V1	9,5	15,18
V2	9,8	15,73
V2	9,8	15,69
V3	8,4	13,43
V3	8,2	13,12
Keskiarvo	9,2	14,64
Keskihajonta	0,7	1,13

Taulukko A6 korjauslaasti koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	41,4	39,8	160,2	549	0,26	2080
P2	40,8	39,9	160,2	545	0,26	2089
P3	40,5	39,8	160,2	548	0,26	2120
V1	40,1	40,2	160,2	527	0,26	2040
V2	40,1	40,1	160,2	527	0,26	2046
V3	39,8	40,2	160,5	533	0,26	2075
Keskiarvo:	40,5	40,0	160,2	538,2	0,26	2075
Keskihajonta:	0,6	0,2	0,1	10,2	0,00	20,5

Taulukko A7 korjauslaastin taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	4,7	2,04
V 2	4,6	1,97
V 3	4,7	2,02
Keskiarvo	4,7	2,0
Keskihajonta	0,1	0,04

Taulukko A8 korjauslaastin taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	3,8	1,64
P 2	4,0	1,75
P 3	3,9	1,65
Keskiarvo	3,9	1,7
Keskihajonta	0,14	0,06

Taulukko A9 korjauslaastin puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	29,2	46,7
P1	29,4	46,98
P2	29,8	47,70
P2	27,0	43,12
P3	30,1	48,20
P3	26,9	43,08
Keskiarvo	28,7	45,96
Keskihajonta	1,43	2,28

Taulukko A10 korjauslaastin puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	29,1	46,58
V1	30,6	48,88
V2	27,6	44,16
V2	29,0	46,40
V3	26,1	41,82
V3	25,3	40,40
Keskiarvo	27,9	44,71
Keskihajonta	2,0	3,19



Taulukko A11 julkisivulaasti koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	40,4	40,1	160,2	464	0,26	1786
P2	40,2	40,1	160,2	461	0,26	1784
P3	40,3	39,9	160,1	463	0,26	1800
V1	41,1	39,9	160,0	477	0,26	1818
V2	41,2	39,9	159,9	481	0,26	1832
V3	40,2	40,0	160,1	476	0,26	1850
Keskiarvo:	40,6	40,0	160,1	470,3	0,26	1800
Keskihajonta:	0,5	0,1	0,1	8,6	0,00	26,2

Taulukko A12 julkisivulaastin taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	4,3	1,86
V 2	4,0	1,73
V 3	4,2	1,78
Keskiarvo	4,1	1,8
Keskihajonta	0,2	0,07

Taulukko A13 julkisivulaastin taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	3,4	1,47
P 2	3,6	1,56
P 3	3,7	1,58
Keskiarvo	3,6	1,5
Keskihajonta	0,16	0,06

Taulukko A14 julkisivulaastin puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	17,8	28,47
P1	17,9	28,57
P2	16,9	27,06
P2	16,5	26,42
P3	18,0	28,76
P3	16,7	26,67
Keskiarvo	17,3	17,66
Keskihajonta	0,66	1,06

Taulukko A15 julkisivulaastin puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	15,6	25,02
V1	18,2	29,05
V2	16,3	26,06
V2	17,0	27,17
V3	16,0	25,64
V3	16,0	25,55
Keskiarvo	16,5	26,42
Keskihajonta	0,92	1,48

Taulukko A16 verkotuslaastin koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	40,3	40,0	159,8	408	0,26	1584
P2	40,4	40,1	159,7	411	0,26	1590
P3	40,0	39,9	159,8	407	0,26	1595
V1	39,7	39,9	159,7	404	0,25	1599
V2	39,9	40,1	159,7	407	0,26	1594
V3	40,9	40,0	159,8	409	0,26	1563
Keskiarvo:	40,2	40,0	159,7	407,5	0,26	1587
Keskihajonta:	0,4	0,1	0,1	2,5	0,00	13,1

Taulukko A17 verkotuslaastin taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	3,0	1,24
V 2	3,0	1,30
V 3	2,8	1,22
Keskiarvo	2,9	1,3
Keskihajonta	0,1	0,04

Taulukko A18 verkotuslaastin taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	2,5	1,07
P 2	2,5	1,07
P 3	2,5	1,08
Keskiarvo	2,5	1,1
Keskihajonta	0,0	0,01

Taulukko A19 verkotuslaastin puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	14,8	23,67
P1	14,1	22,52
P2	14,8	23,67
P2	15,3	24,49
P3	15,6	25,03
P3	14,8	23,73
Keskiarvo	14,9	23,85
Keskihajonta	0,53	0,85

Taulukko A20 verkotuslaastin puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	15,3	25,52
V1	15,0	23,92
V2	14,4	23,06
V2	15,9	25,39
V3	15,0	24,04
V3	14,1	22,53
Keskiarvo	14,9	23,91
Keskihajonta	0,64	1,02

Taulukko A21 lattiamassa koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	41,4	40,1	160,4	532	0,27	1996
P2	39,7	40,0	160,6	498	0,26	1952
P3	39,5	40,4	160,5	500	0,26	1954
V1	40,8	40,0	160,6	523	0,26	1999
V2	39,5	40,2	160,2	523	0,25	2058
V3	39,5	40,3	160,7	502	0,26	1964
Keskiarvo:	40,1	40,2	160,5	513,1	0,26	1987
Keskihajonta:	0,8	0,2	0,2	14,6	0,00	40,3

Taulukko A22 lattiamassan taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	3,7	1,59
V 2	3,5	1,51
V 3	3,4	1,44
Keskiarvo	3,5	1,5
Keskihajonta	0,1	0,08

Taulukko A23 lattiamassan taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	2,1	0,92
P 2	1,7	0,71
P 3	1,9	0,82
Keskiarvo	1,9	0,8
Keskihajonta	0,20	0,11

Taulukko A24 lattiamassan puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	22,6	36,14
P1	20,6	32,93
P2	18,9	30,31
P2	18,5	29,67
P3	18,7	29,94
P3	16,8	26,86
Keskiarvo	19,4	30,98
Keskihajonta	1,99	0,32

Taulukko A25 lattiamassan puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	24,8	39,71
V1	25,3	40,46
V2	24,0	38,37
V2	24,8	39,61
V3	25,1	40,22
V3	24,4	39,08
Keskiarvo	24,7	39,58
Keskihajonta	0,48	0,76

Tässä liitessä on esitetty koekappaleiden mittatiedot sekä testitulokset taulukoissa B1-B25. Koekappaleiden tunnus P tarkoittaa pakkasrasitettua koekappaletta ja tunnus V tarkoittaa vertailukappaletta. Taulukoissa B26-B30 on esitetty menetelmä b:n mukaiset punnitustulokset sekä painohäviö-%.

Taulukko B1 muurauslaasti koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	39,6	39,9	159,7	440	0,25	1746
P2	39,4	39,9	159,7	438	0,25	1745
P3	39,0	39,8	159,8	437	0,25	1757
V1	39,3	39,8	159,9	436	0,25	1743
V2	39,3	39,8	159,9	434	0,25	1735
V3	39,4	40,4	159,8	446	0,25	1753
Keskiarvo:	39,3	39,9	159,8	438,5	0,25	1747
Keskihajonta:	0,2	0,2	0,1	4,1	0,00	7,7

Taulukko B2 muurauslaastin taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	2,2	0,93
V 2	2,2	0,93
V 3	2,3	0,99
Keskiarvo	2,3	0,95
Keskihajonta	0,1	0,04

Taulukko B3 muurauslaastin taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	2,5	1,0
P 2	2,6	1,1
P 3	2,7	1,17
Keskiarvo	2,6	1,1
Keskihajonta	0,1	0,05

Taulukko B4 muurauslaastin puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	8,6	13,68
P1	8,6	13,68
P2	8,3	13,28
P2	8,4	13,46
P3	7,9	12,62
P3	7,8	12,45
Keskiarvo	8,2	13,19
Keskihajonta	0,3	0,53

Taulukko B5 muurauslaastin puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	6,0	9,62
V1	5,9	9,44
V2	6,0	9,67
V2	6,0	9,63
V3	5,1	8,23
V3	5,1	8,15
Keskiarvo	5,7	9,12
Keskihajonta	0,4	0,72

Taulukko B6 korjauslaasti koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	39,2	40,2	160,6	531	0,25	2093
P2	39,7	40,4	160,5	534	0,26	2073
P3	39,6	40,1	160,3	537	0,25	2112
V1	39,6	40,4	160,2	536	0,26	2092
V2	39,7	40,4	160,5	541	0,26	2100
V3	39,4	40,3	160,4	537	0,26	2103
Keskiarvo:	39,5	40,3	160,4	535,7	0,26	2096
Keskihajonta:	0,2	0,1	0,2	3,3	0,00	13,1

Taulukko B7 korjauslaastin taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	7,2	3,10
V 2	7,6	3,30
V 3	7,1	3,04
Keskiarvo	7,3	3,1
Keskihajonta	0,3	0,13

Taulukko B8 korjauslaastin taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	5,2	2,19
P 2	4,5	1,93
P 3	5,1	2,16
Keskiarvo	4,9	2,1
Keskihajonta	0,4	0,15

Taulukko B9 korjauslaastin puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	31,6	50,51
P1	30,9	49,42
P2	32,0	51,20
P2	31,3	50,10
P3	34,8	55,69
P3	31,2	49,87
Keskiarvo	32,0	51,13
Keskihajonta	1,45	2,31

Taulukko B10 korjauslaastin puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	29,5	47,12
V1	29,9	47,86
V2	31,5	50,33
V2	27,8	44,55
V3	28,3	45,23
V3	30,7	49,16
Keskiarvo	29,6	47,38
Keskihajonta	1,39	2,22

Taulukko B11 julkisivulaasti koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	39,8	39,9	160,0	454	0,25	1786
P2	39,4	40,0	160,1	456	0,25	1809
P3	39,6	40,1	160,2	457	0,25	1795
V1	39,7	40,0	160,1	451	0,25	1776
V2	39,6	40,1	160,2	451	0,25	1773
V3	39,6	40,2	160,2	454	0,25	1779
Keskiarvo:	39,6	40,0	160,1	454	0,25	1786
Keskihajonta:	0,1	0,1	0,1	2,7	0,00	13,6

Taulukko B12 julkisivulaastin taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	6,3	2,66
V 2	6,3	2,69
V 3	3,9	1,64
Keskiarvo	5,5	2,3
Keskihajonta	1,4	0,59

Taulukko B13 julkisivulaastin taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	5,0	2,1
P 2	5,0	2,1
P 3	4,8	2,0
Keskiarvo	4,9	2,1
Keskihajonta	0,1	0,03

Taulukko B14 julkisivulaastin puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	18,9	30,23
P1	18,9	30,23
P2	17,1	27,41
P2	17,4	27,79
P3	19,6	31,30
P3	17,4	27,83
Keskiarvo	18,2	29,13
Keskihajonta	1,0	1,65



Taulukko B15 julkisivulaastin puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	16,9	27,07
V1	15,3	24,41
V2	16,2	25,97
V2	16,4	26,17
V3	15,2	24,25
V3	16,4	26,21
Keskiarvo	16,1	21,75
Keskihajonta	0,7	9,43

Taulukko B16 verkotuslaastin koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	39,5	39,9	159,5	379	0,25	1504
P2	39,0	40,0	159,7	383	0,25	1536
P3	39,2	40,0	159,8	380	0,25	1518
V1	39,1	40,0	159,7	387	0,25	1553
V2	39,6	39,8	159,7	380	0,25	1511
V3	39,5	40,0	159,7	384	0,25	1523
Keskiarvo:	39,3	39,9	159,7	382,2	0,25	1524
Keskihajonta:	0,2	0,1	0,1	3,2	0,00	17,7

Taulukko B17 verkotuslaastin taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	4,8	2,01
V 2	4,4	1,85
V 3	4,8	2,00
Keskiarvo	4,6	2,00
Keskihajonta	0,26	0,09

Taulukko B18 verkotuslaastin taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	4,3	1,82
P 2	4,5	1,86
P 3	4,8	2,04
Keskiarvo	4,7	1,9
Keskihajonta	0,2	0,11

Taulukko B19 verkotuslaastin puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	14,0	22,47
P1	14,0	22,47
P2	13,7	21,86
P2	13,8	22,05
P3	14,5	23,18
P3	14,3	22,89
Keskiarvo	14,1	22,49
Keskihajonta	0,3	0,49

Taulukko B20 verkotuslaastin puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	14,1	22,53
V1	14,0	22,41
V2	12,8	20,49
V2	13,0	20,78
V3	13,7	21,91
V3	13,7	21,89
Keskiarvo	13,5	21,67
Keskihajonta	0,5	0,84

Taulukko B21 lattiamassa koekappaleiden mitat, painot, tilavuudet ja tiheydet.

<b>Tunnus:</b>	<b>leveys [mm]</b>	<b>korkeus [mm]</b>	<b>pituus [mm]</b>	<b>Massa [g]</b>	<b>Tilavuus [dm<sup>3</sup>]</b>	<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>
P1	40,1	40,4	160,7	494	0,26	1899
P2	39,6	40,7	160,8	506	0,26	1954
P3	40,0	40,4	160,5	509	0,26	1961
V1	39,7	40,3	160,7	490	0,26	1905
V2	39,7	40,6	160,6	506	0,26	1955
V3	39,6	40,2	160,6	487	0,26	1905
Keskiarvo:	39,8	40,4	160,6	498,7	0,26	1930
Keskihajonta:	0,2	0,2	0,1	10	0,00	29,6

Taulukko B22 lattiamassan taivutusvetolujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	3,6	1,55
V 2	4,0	1,75
V 3	3,4	1,46
Keskiarvo	3,7	1,60
Keskihajonta	0,3	0,15

Taulukko B23 lattiamassan taivutusvetolujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Taivutusvetolujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P 1	3,9	1,68
P 2	4,0	1,76
P 3	3,2	1,37
Keskiarvo	3,7	1,60
Keskihajonta	0,46	0,21

Taulukko B24 lattiamassan puristuslujuus tulokset pakkasrasituskappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>,82]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
P1	22,8	36,49
P1	22,8	36,45
P2	20,9	33,39
P2	24,0	38,39
P3	23,3	37,34
P3	23,5	37,59
Keskiarvo	22,9	36,61
Keskihajonta	1,1	1,73

Taulukko B25 lattiamassan puristuslujuus tulokset vertailukappaleet

<b>Tunnus</b>	<b>Puristuslujuuslujuus [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Murtokuorma [kN]</b>
V1	19,0	30,38
V1	20,8	33,22
V2	18,9	30,17
V2	21,2	33,94
V3	22,5	36,07
V3	19,0	30,42
Keskiarvo	20,2	32,36
Keskihajonta	1,5	2,42

Taulukko B26 muurauslaastin punnitustulokset

<b>Tunnus:</b>	<b>Paino alussa [g]</b>	<b>Paino lopussa [g]</b>	<b>Painohäviö [%]</b>
1	427,6	427,3	0,07
2	431,2	430,6	0,14
3	433,0	432,2	0,19
Keskiarvo:	430,6	430,0	0,13
Keskihajonta:	2,7	2,5	0,06

Taulukko B27 korjauslaastin punnitustulokset

<b>Tunnus:</b>	<b>Paino alussa [g]</b>	<b>Paino lopussa [g]</b>	<b>Painohäviö [%]</b>
1	505,9	505,7	0,04
2	510,9	510,7	0,04
3	508,2	508,1	0,02
Keskiarvo:	508,3	508,2	0,03
Keskihajonta:	2,5	2,5	0,01

Taulukko B28 julkisivulaastin punnitustulokset

<b>Tunnus:</b>	<b>Paino alussa [g]</b>	<b>Paino lopussa [g]</b>	<b>Painohäviö [%]</b>
1	427,3	427,3	0
2	432,2	432,2	0
3	427,3	427,3	0
Keskiarvo:	428,9	428,9	0
Keskihajonta:	2,8	2,8	0

Taulukko B29 verkotuslaastin punnitustulokset

<b>Tunnus:</b>	<b>Paino alussa [g]</b>	<b>Paino lopussa [g]</b>	<b>Painohäviö [%]</b>
1	359,0	359,0	0
2	364,2	364,2	0
3	360,7	360,7	0
Keskiarvo:	361,3	361,3	0
Keskihajonta:	2,7	2,7	0

Taulukko B30 lattiamassan punnitustulokset

<b>Tunnus:</b>	<b>Paino alussa [g]</b>	<b>Paino lopussa [g]</b>	<b>Painohäviö [%]</b>
1	477,8	477,6	0,04
2	484,6	484,6	0
3	481,1	481,1	0
Keskiarvo:	481,2	481,1	0,01
Keskihajonta:	3,4	3,5	0,02

Tässä liitessä on esitetty koekappaleiden rapautuman eteneminen taulukoissa C1-C5. Jokaisen tuotteen koekappaleita on testattu 4 kappaletta ja ne täyttävät standardin mukaiset pinta-ala vaatimukset.

C1 muurauslaastin rapautuman eteneminen kokeen aikana.

Kierrosmäärä päivissä	Rapauma / koekappale [g/ m <sup>2</sup> ]				Keskiarvo [g/m <sup>2</sup> ]
	1	2	3	4	
7	40,16	5,82	11,74	11,74	17,37
14	66,55	19,79	19,95	21,73	32,01
28	102,12	38,41	46,36	39,34	56,56
42	127,37	48,31	61,03	49,91	71,66
56	144,01	59,95	73,36	58,72	84,01

C2 korjauslaastin rapautuman eteneminen kokeen aikana.

Kierrosmäärä päivissä	Rapauma / koekappale [g/ m <sup>2</sup> ]				Keskiarvo [g/m <sup>2</sup> ]
	1	2	3	4	
7	1,24	0,56	0,00	0,00	0,45
14	1,24	0,56	0,61	0,56	0,74
28	1,24	0,56	1,83	3,36	1,75
42	4,35	6,21	5,48	5,60	5,41
56	6,83	10,16	7,31	7,28	7,90

C3 julkisivulaastin rapautuman eteneminen kokeen aikana.

Kierrosmäärä päivissä	Rapauma / koekappale [g/ m <sup>2</sup> ]				Keskiarvo [g/m <sup>2</sup> ]
	1	2	3	4	
7	0,58	0,00	0,57	0,00	0,29
14	1,16	0,57	0,57	0,57	0,72
28	2,89	1,71	1,13	2,29	2,01
42	4,05	2,28	3,97	2,87	3,29
56	4,62	2,86	4,54	2,87	3,72

C4 verkotuslaastin rapauman eteneminen kokeen aikana.

Kierrosmäärä päivissä	Rapauma / koekappale [g/ m <sup>2</sup> ]				Keskiarvo [g/m <sup>2</sup> ]
	1	2	3	4	
7	5,63	4,60	8,23	6,94	6,35
14	11,27	9,19	8,82	12,72	10,50
28	16,90	9,19	9,41	13,30	12,20
42	19,16	11,49	10,00	14,45	13,77
56	20,28	13,21	11,76	15,61	15,22

C5 lattiamassan rapauman eteneminen kokeen aikana.

Kierrosmäärä päivissä	Rapauma / koekappale [g/ m <sup>2</sup> ]				Keskiarvo [g/m <sup>2</sup> ]
	1	2	3	4	
7	64,81	75,67	68,42	57,01	66,48
14	104,39	112,91	111,12	94,82	105,81
28	238,60	207,80	267,12	198,95	228,12
42	437,63	390,97	477,32	378,70	421,15
56	571,85	509,82	608,69	525,29	553,78

WSP Finland Oy  
Laboratoriopalvelut  
Heikkiläntie 7 D  
00210 HELSINKI  
Puh. 0207 864 12  
Fax 0207 864 800

18.04.2011

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu  
Rakennuslaboratorio  
PL9, Pääskysentie 1  
48401 KOTKA

## OHUTHIETUTKIMUS

**Yleistiedot näytteistä** Tilaaja on toimittanut kuusi palanäytettä ohuthietutkimuksia varten, tunnuks: M-SFS5447, V-SFS5447, JS-SFS5447, M-Liite B, V-Liite B ja JS-Liite B.

**Tutkimukset** Näytteistä valmistettiin ohuthieet (paksuus 0,025-0,030 mm) pintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Hielasin koko on 48 x 25 mm.

Näytteiden yleispiirteiden tarkastelu suoritettiin ensin Olympus SZ3060 stereomikroskoopilla, minkä jälkeen ohuthieet tutkittiin Nikon E400 POL polarisaatiomikroskoopilla. Tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä.

Ohuthietutkimuksessa käytettiin apuna standardia ASTM C856.

**Tulokset** **Näyte M-SFS5447**, (muurauslaasti). Ohuthie on tehty palanäytteen halkaistusta pinnasta.

Palanäytteen halkaisija on noin 40 mm.

Laasti on suhteellisen tasalaatuista ja huokoista. Kiviaine on pääosin silikaattista hiekkaa sekä kalkkikivijauhetta. Suurin havaittu raekoko on 2 mm. Kiviaine on hyvälaatuista.

Laasti on arviolta sementtirikasta. Sideaine on karbonisoitunut osittaisesta ja tasainen karbonisoituminen ulottuu pinnasta alle 1 mm:iin.

Kiviaineen tartunnat sideaineeseen ovat pääosin kiinni.

Laastissa ei havaittu merkittävää säröilyä tai mikrosäröilyä.

Liite 4/2

Huokosia ( $\varnothing = 0,02-2,5$  mm) on runsaasti. Huokosten seinämille on kiteytynyt kohtalaisesti kalsiumhydroksidia sekä mahdollisesti pieniä määriä ettringiittiä.

**Näyte V-SFS5447, (verkotuslaasti). Ohuthie on tehty palanäytteen halkaistusta pinnasta.**

Palanäytteen halkaisija on noin 40 mm.

Laasti on tasalaatuista ja tiivistä. Kiviaine on pääosin silikaattista hiekkaa sekä kalkkikivisirotetta/ -jauhetta. Laastissa on muovikuituja. Suurin havaittu raekoko on alle 0,6 mm. Kiviaine on hyvälaatuista.

Laasti on arviolta sementtirikasta. Laastissa on lentotuhkaa sekä osittain hajoamatonta silikaa. Sideaine on karbonatisoitunut pinnasta alle 2 mm.

Kiviaineen tartunnat sideaineeseen ovat kiinni.

Merkittävää säröilyä ei havaittu.

Huokosia ( $\varnothing = 0,02-2,2$  mm) on runsaasti. Huokosissa ei havaittu merkittäviä kiteytymiä.

**Näyte JS-SFS5447, (julkisivulaasti). Ohuthie on tehty palanäytteen halkaistusta pinnasta.**

Palanäytteen halkaisija on noin 40 mm.

Laasti on tasalaatuista ja tiivistä. Kiviaine on pääosin kalkkikivimursketta. Suurin havaittu raekoko on alle 1 mm. Kiviaine on hyvälaatuista.

Laasti on arviolta sementtirikasta (valkosementti). Karbonatisoituminen on edennyt pinnasta alle 1 mm.

Kiviaineen tartunnat sideaineeseen ovat tiiviit.

Merkittävää säröilyä ei havaittu.

Huokosia ( $\varnothing = 0,02-2,9$  mm) on runsaasti. Huokosissa ei havaittu merkittäviä kiteytymiä.

**Näyte M-Liite B, (muurauslaasti). Ohuthie on tehty palanäytteen halkaistusta pinnasta.**

Palanäytteen halkaisija on noin 40 mm.



Liite 4/3

Laasti on tasalaatuista ja suhteellisen huokoista. Kiviaine on pääosin silikaattista hiekkaa sekä kalkkikivijauhetta. Suurin havaittu raekoko on 1 mm. Kiviaineen laatu on normaali.

Laasti on arviolta sementtirikasta. Sideaine on karbonatisoitunut ulottuu pinnasta noin 8 mm:iin.

Kiviaineen tartunnat sideaineeseen ovat kiinni.

Laastissa ei havaittu merkittävää säröilyä tai mikrosäröilyä.

Huokosia ( $\varnothing = 0,02-3,6$  mm) on runsaasti. Huokosten seinämille on kiteytynyt kohtalaisesti kalsiumhydroksidia ja yksittäiset alle 0,05 mm:n kokoiset huokokset ovat umpeutuneet.

**Näyte V-Liite B, (verkotuslaasti). Ohuthie on tehty palanäytteen halkaistusta pinnasta.**

Palanäytteen halkaisija on noin 40 mm.

Laasti on suhteellisen tasalaatuista ja suhteellisen tiivistä (hieman suuria huokostiloja). Kiviaine on pääosin silikaattista hiekkaa sekä kalkkikivisirotetta/ -jauhetta. Laastissa on muovikuituja. Suurin havaittu raekoko on alle 0,5 mm. Kiviaine on hyvälaatuista.

Laasti on arviolta sementtirikasta. Laastissa on lentotuhkaa sekä osittain hajoamatonta silikaa. Sideaine on karbonatisoitunut pinnasta alle 2 mm.

Kiviaineen tartunnat sideaineeseen ovat kiinni.

Merkittävää säröilyä/ mikrosäröilyä ei havaittu.

Huokosia ( $\varnothing = 0,02-4,5$  mm) on runsaasti. Epäsäännöllisen muotoisia ja suuria huokosia on kohtalaisesti. Huokosten seinämille on kiteytynyt kohtalaisesti kalsiumhydroksidia ja yksittäiset alle 0,07 mm:n kokoiset huokokset ovat umpeutuneet.

**Näyte JS-Liite B, (julkisivulaasti). Ohuthie on tehty palanäytteen halkaistusta pinnasta.**

Palanäytteen halkaisija on noin 40 mm.

Laasti on tasalaatuista ja tiivistä. Kiviaine on pääosin kalkkikivimursketta. Suurin havaittu raekoko on alle 1 mm. Kiviaine on hyvälaatuista.

Laasti on arviolta sementtirikasta (valkosementti). Karbonatisoituminen on edennyt pinnasta alle 1 mm.

Kiviaineen tartunnat sideaineeseen ovat tiiviit.

Merkittävää säröilyä ei havaittu.

Huokosia ( $\varnothing = 0,02-2,5$  mm) on runsaasti. Huokosissa ei havaittu merkittäviä kiteytymiä.

#### Tulosten tarkastelu

Näytteiden kuntoa on arvioitu asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä ja heikko. Arvion perustana on käytetty ohuthietutkimuksista saatuja tuloksia.

Näyte	materiaali	Kunto	Pakkaskesto huokosrakenteen perusteella/ huokostäytteet	Rapau- tuneisuus*
M-SFS5447	muurauslaasti	hyvä	Hyvä/ vähän ettringiittiä	0
V-SFS5447	verkotuslaasti	hyvä	Hyvä/ ei	0
JS-SFS5447	julkisivulaasti	hyvä	Hyvä/ ei	0
M-Liite B	muurauslaasti	hyvä	Hyvä/ yksittäiset umpeutuneet, kalsiumhydroksidi	0
V-Liite B	verkotuslaasti	hyvä	Hyvä/ yksittäiset umpeutuneet, kalsiumhydroksidi	0
JS-Liite B	julkisivulaasti	hyvä	Hyvä/ ei	0

\* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Rappaukset ovat rakenteeltaan ja laadultaan tasalaatuisia tai suhteellisen tasalaatuisia. Samat laastityypit ovat koostumukseltaan yhtenevät. Kutistuminen on arviolta ollut erittäin vähäistä, eikä siihen viittaavaa säröilyä havaittu.

Laastit ovat arviolta sementtirikkaita. Verkotuslaasteissa (Verk4, Verk) on käytetty seosaineita (lentotuhka, silika) sekä muovikuituja. Huokosrakenteen perusteella laastien pakkasenkestävyys on hyvä eikä rapautumista havaittu.

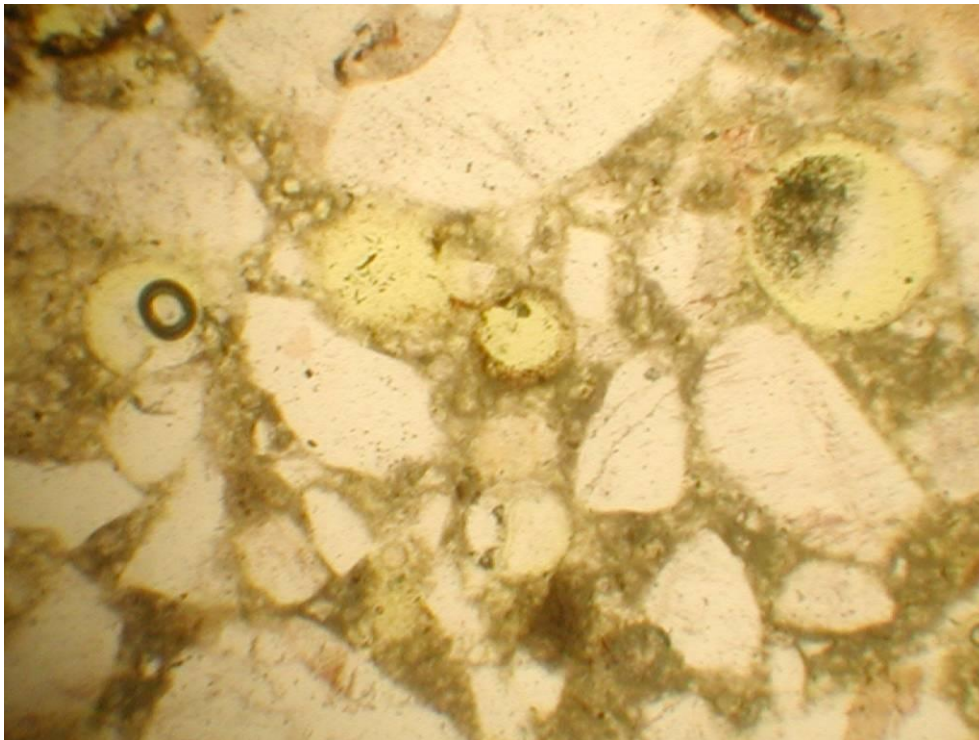
Merkittäviä määriä uudelleen kiteytymisen aiheuttamia sekundäärisiä mineraaleja tai haitallisia kiteytymiä ei havaittu. Näytteessä M4 huokostiloihin on kiteytynyt mahdollisesti erittäin vähän ettringiittiä.

WSP FINLAND OY

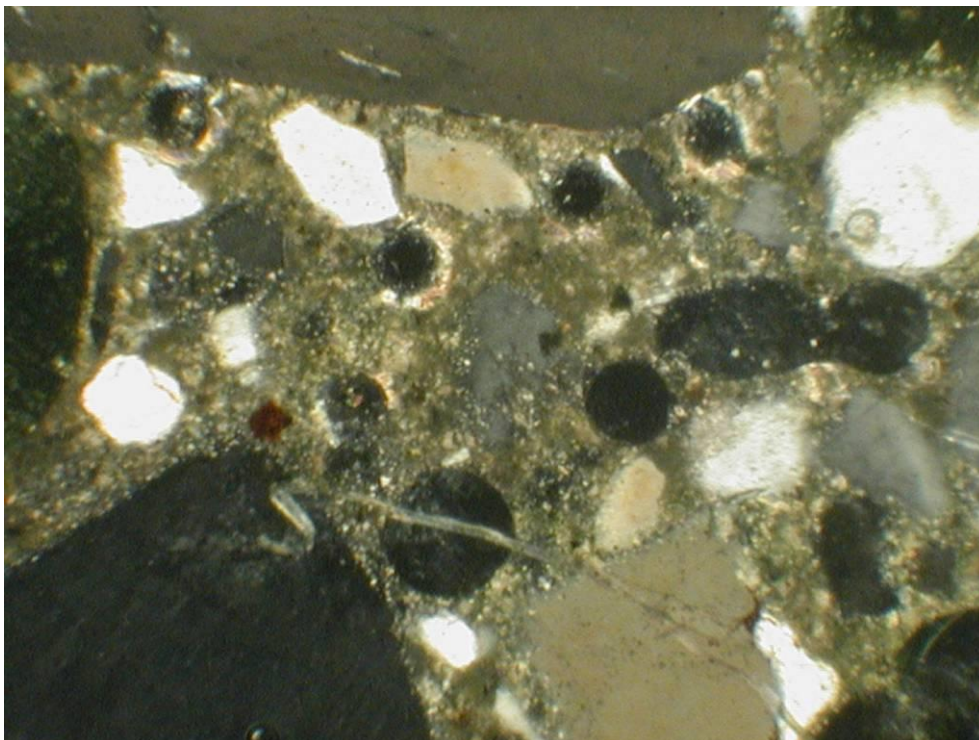
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Vesa Kontio'.Vesa Kontio  
tutkija, FMA handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jussi Myllykangas'.Jussi Myllykangas  
tutkija, FM

Liitteet

Liite 5, mikrorakennekuvat (8 sivua)

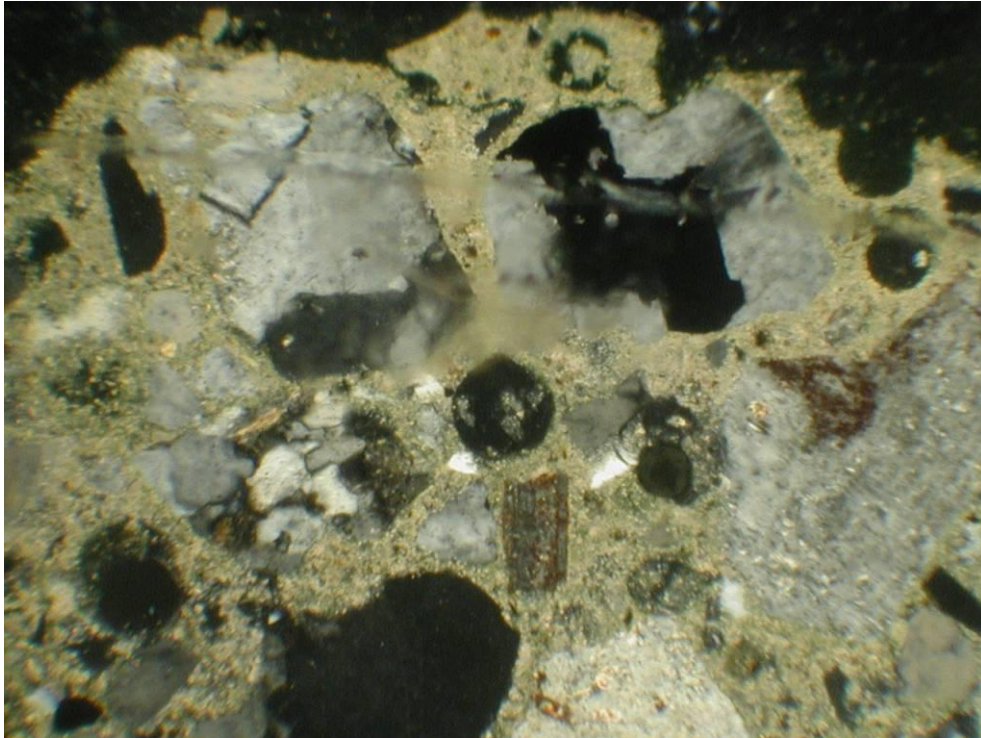


**Kuva 1 (näyte 1.M-SFS5447).** Muurauslaasti on arviolta sementtikikasta. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,3 mm.

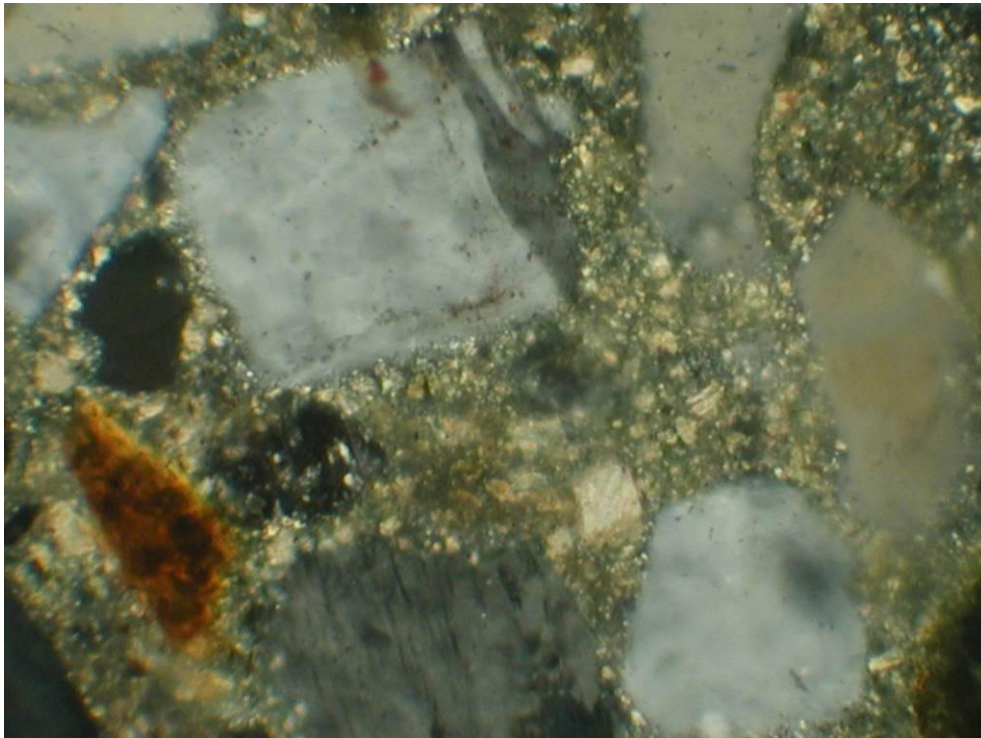


**Kuva 2 (näyte 1. M-SFS5447).** Laastissa havaitaan osittaista karbonatisoitumista. Huokostiloihin on kiteytynyt kalsiumhydroksidia. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,3 mm.

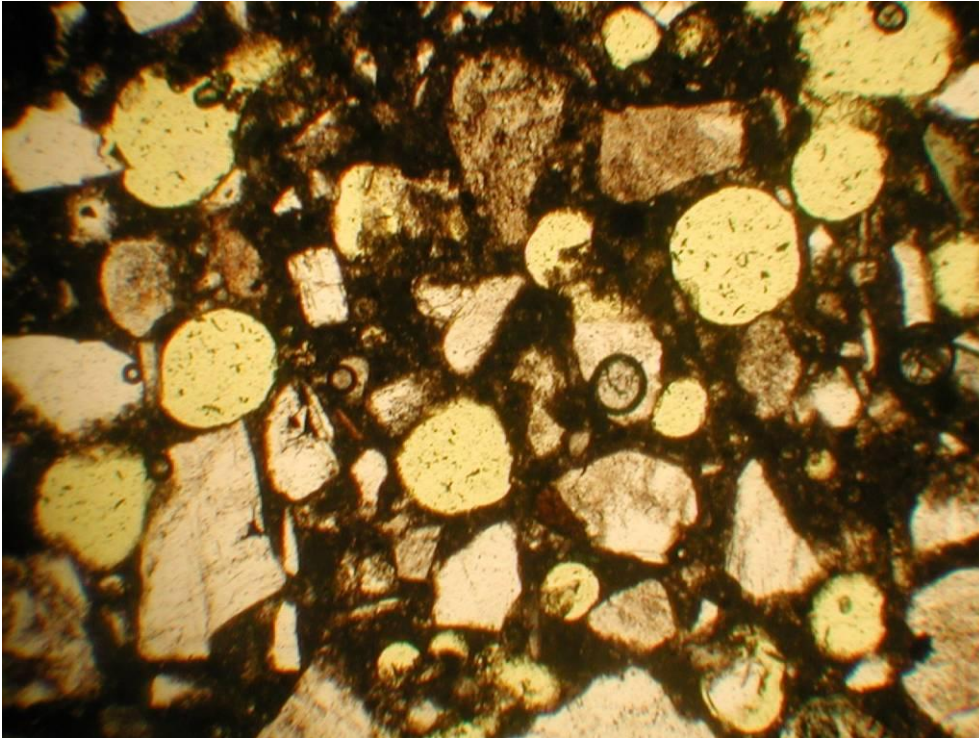




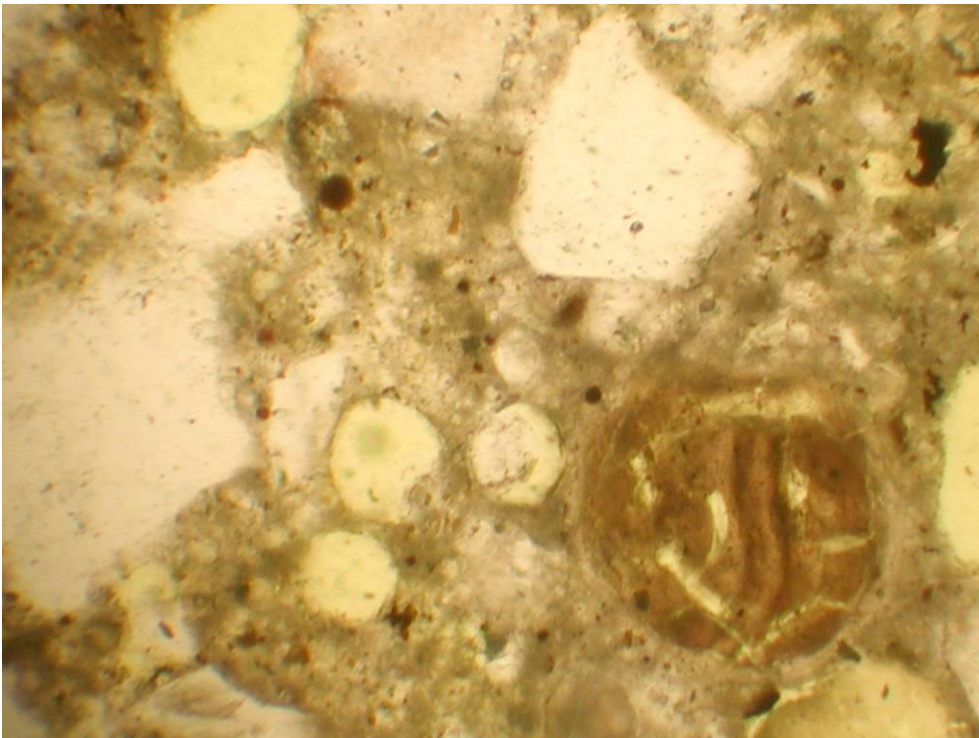
**Kuva 3 (näyte M-SFS5447).** Pinnassa yhtenäinen karbonatisoituminen ulottuu enintään 1 mm syvyyteen. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,5 mm.



**Kuva 4 (näyte M-SFS5447).** Muurauslaastin kiviaine koostuu pääosin silikaattisesta hiekasta sekä kalkkikivijauheesta. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 0,5 mm.

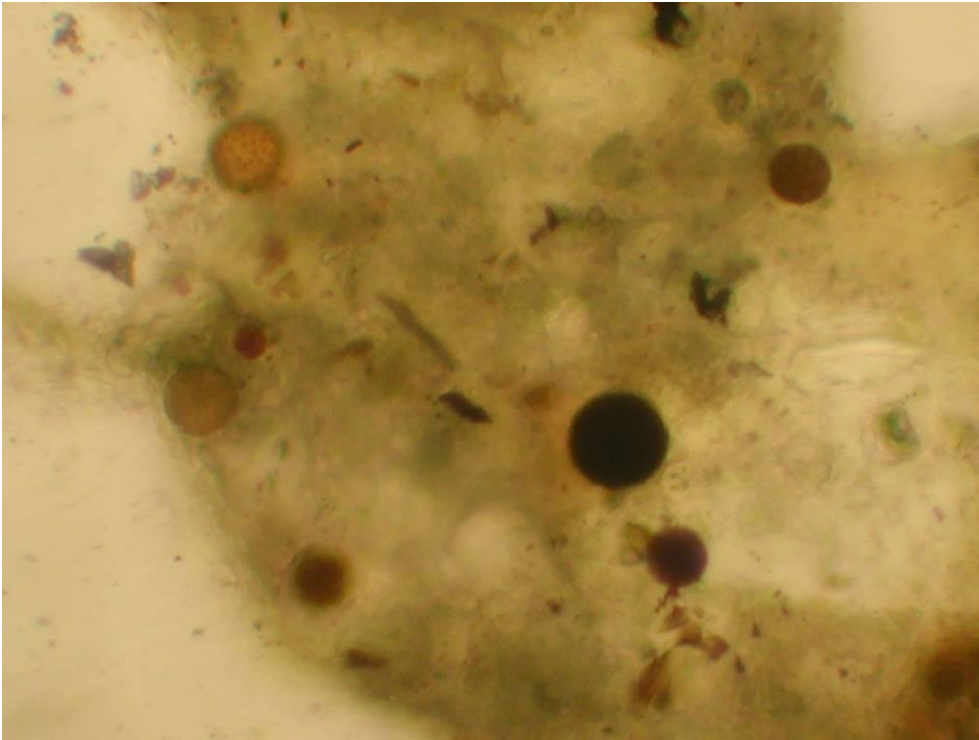


**Kuva 5 (näyte V-SFS5447).** Verkotuslaastissa on runsaasti suojahuokosia. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,5 mm.

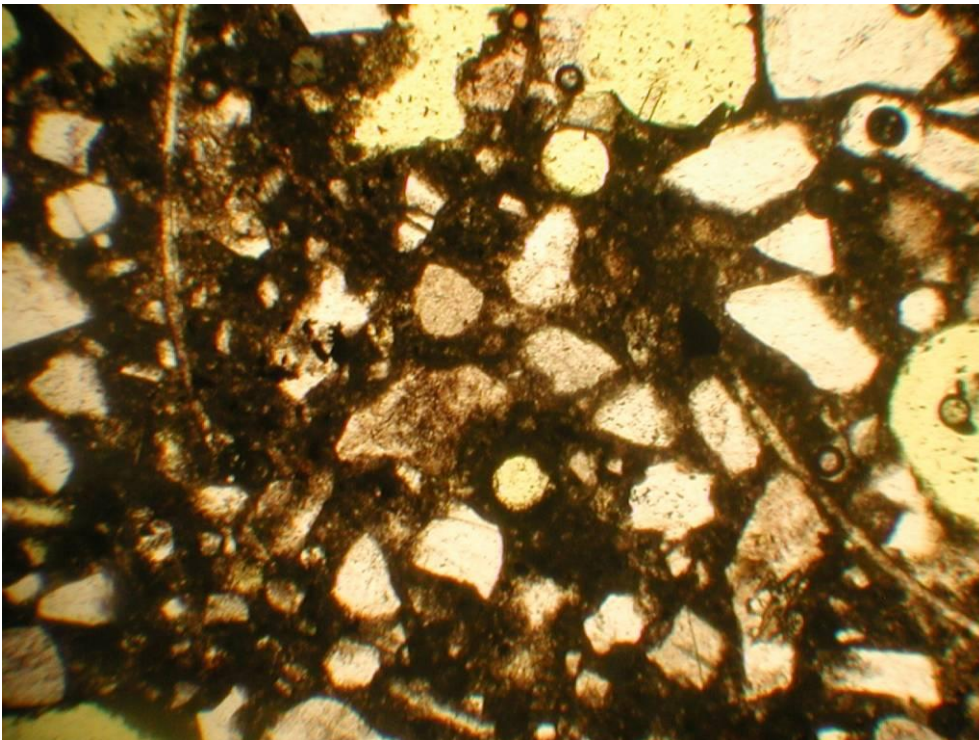


**Kuva 6 (näyte V-SFS5447).** Verkotuslaastissa seosaineena on lentotuhkaa sekä silikaa, mikä on osittain hajoamatonta. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 0,4 mm.

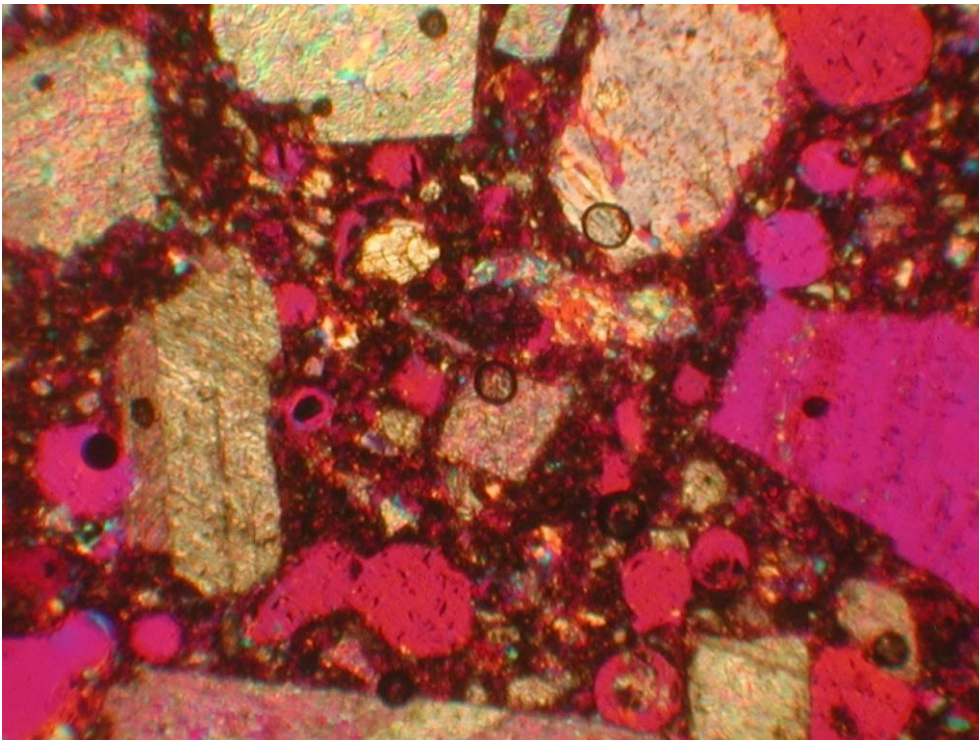




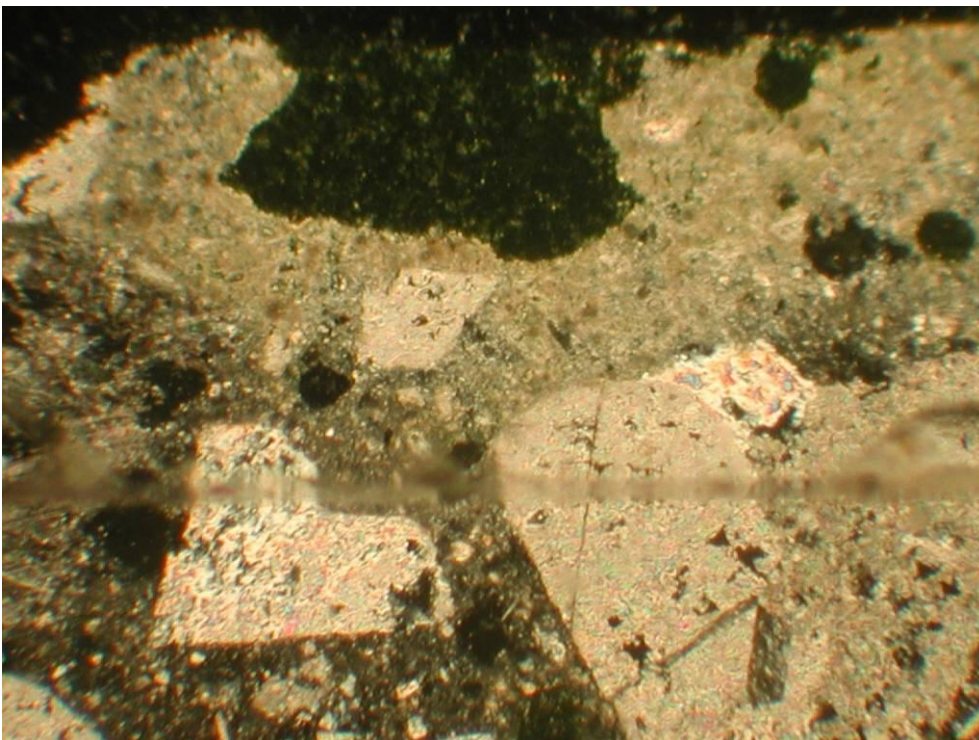
**Kuva 7 (näyte V-SFS5447).** Lentotuhkapartikkeleja verkotuslaastissa. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 0,2 mm.



**Kuva 8 (näyte V-SFS5447).** Verkotuslaastissa on muovikuituja. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,5 mm.

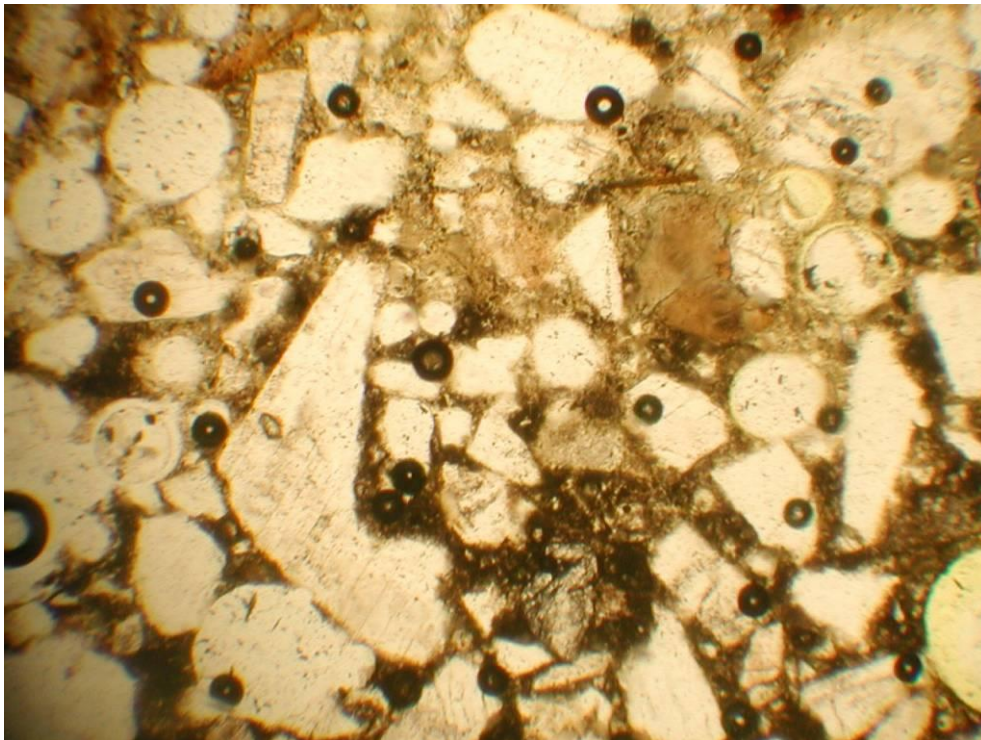


**Kuva 9 (näyte JS-SFS5447).** Julkisivulaastin kiviaine on kalkkikivirouhetta. Suojahuokosia on runsaasti. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,3 mm.

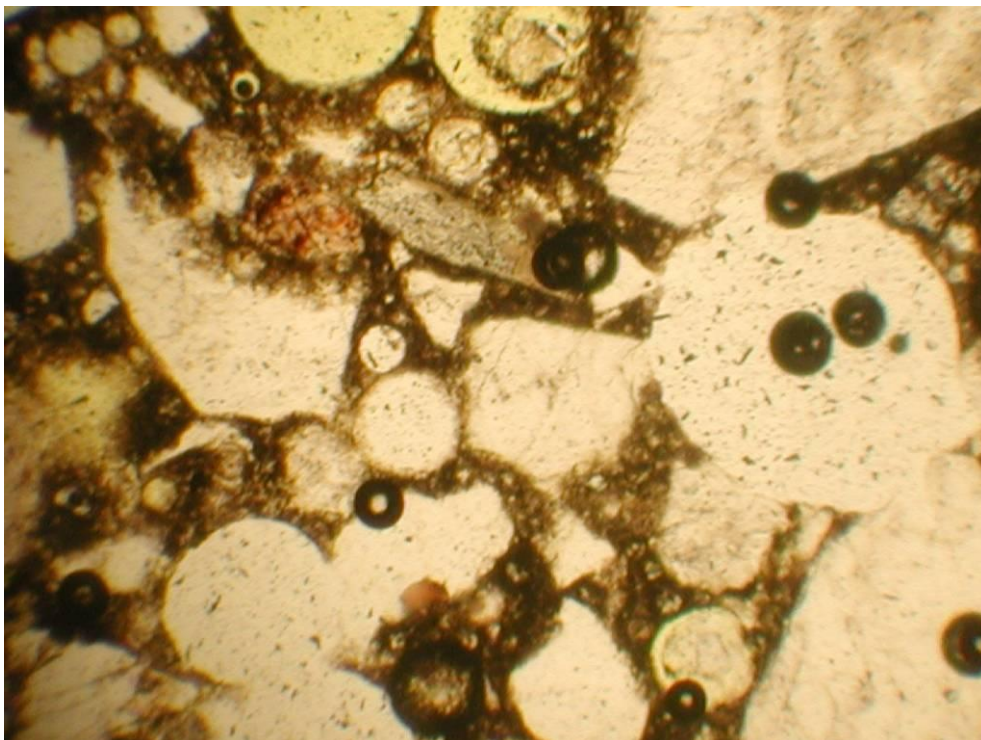


**Kuva 10 (näyte JS-SFS5447).** Sideaineen karbonatisoituminen ulottuu pinnasta noin 1 mm syvyyteen. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,3 mm.



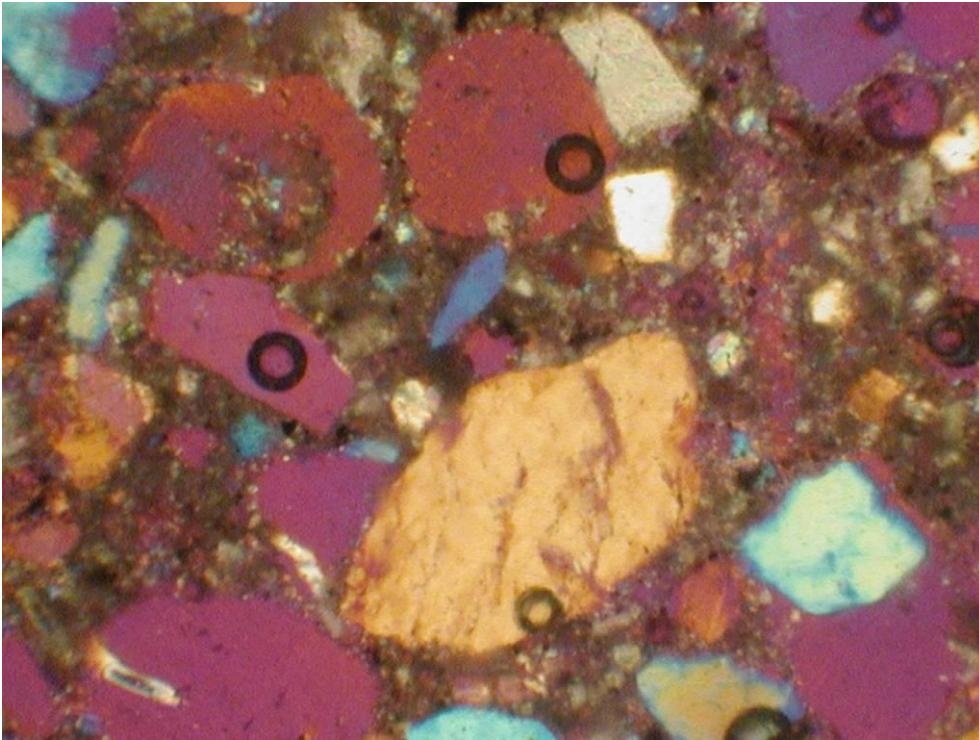


**Kuva 11 (näyte M-Liite-B).** Muurauslaasti on karbonatisoitunut tasaisesti noin 8 mm syvyyteen. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,3 mm.

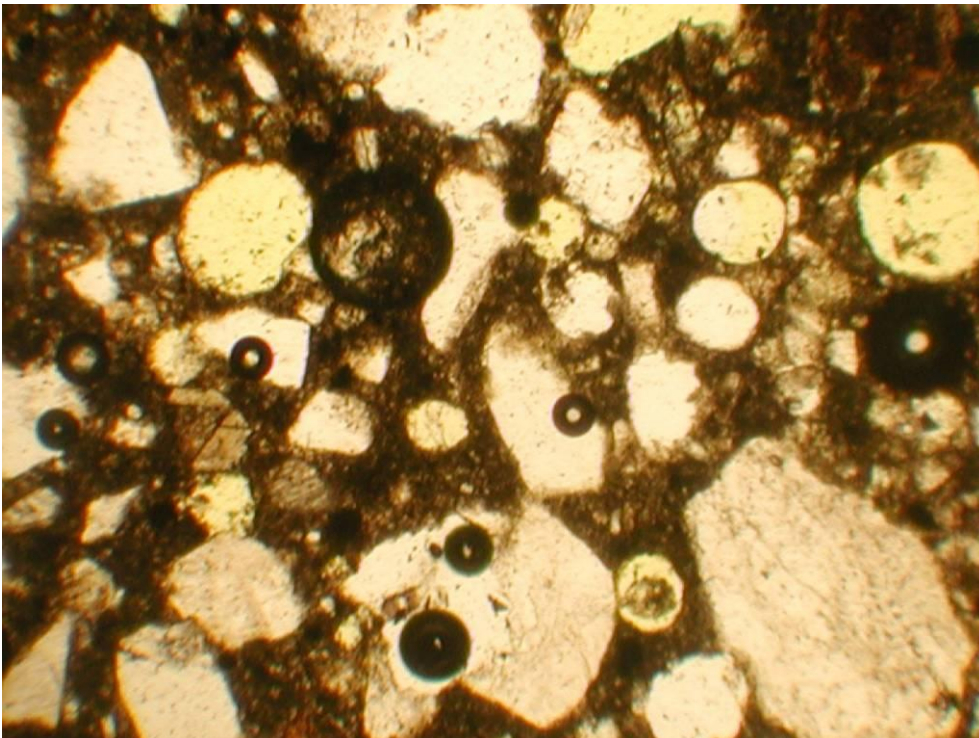


**Kuva 12 (näyte M-Liite-B).** Muurauslaastissa on runsaasti suojahuokosia. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,3 mm.

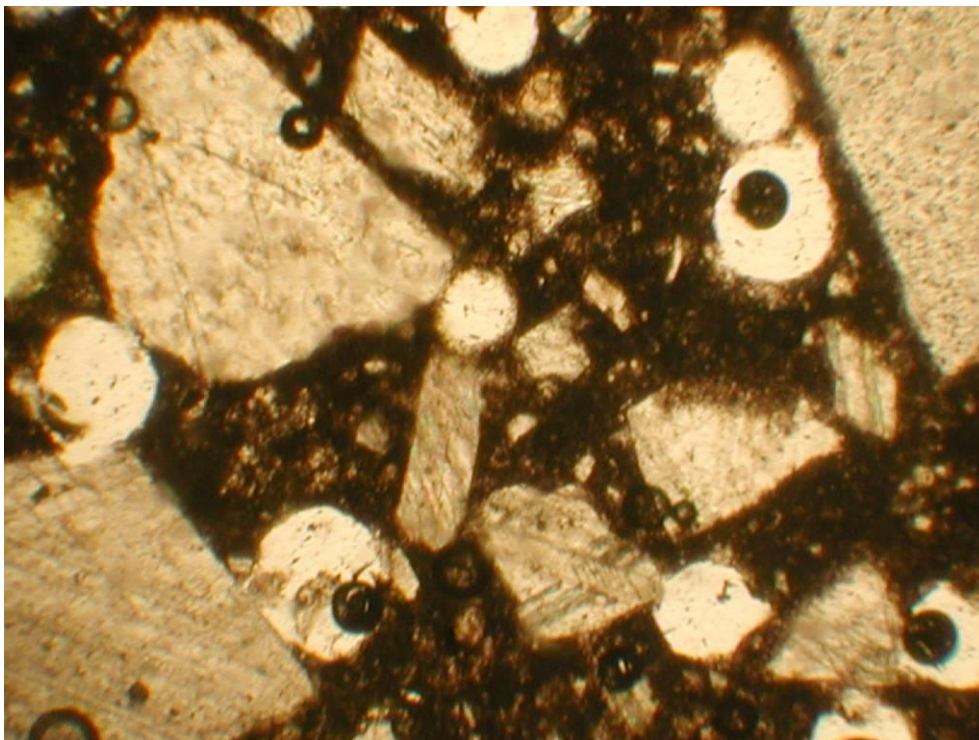




**Kuva 13 (näyte V-Liite-B).** Verkotuslaastissa yksittäiset pienet suojahuokokset ovat umpeutuneet kalsiumhydroksidilla. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,3 mm.



**Kuva 14 (näyte V-Liite-B).** Verkotuslaastissa on runsaasti suojahuukosia. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,3 mm.



**Kuva 15 (näyte JS-Liite-B).** Julkisivulaastissa on runsaasti suojahuokosia. Kuvan pidemmän sivun pituus on luonnossa 1,5 mm.